

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO SOBRE OS EFEITOS DOS PARÂMETROS DO PROTETOR AUDITIVO
TIPO CONCHA NA ATENUAÇÃO DO RUÍDO.

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA.

PAULO HENRIQUE TROMBETA ZANIN

FLORIANÓPOLIS, ABRIL 1990.

ESTUDO SOBRE OS EFEITOS DOS PARÂMETROS DO PROTETOR AUDITIVO
TIPO CONCHA NA ATENUAÇÃO DO RUÍDO.

PAULO HENRIQUE TROMBETA ZANIN

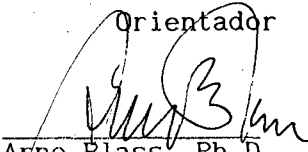
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

M E S T R E E M E N G E N H A R I A

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO VIBRAÇÕES E RUÍDO, E
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA.


Samir Nagi Yousri Gerges, Ph.D.

Orientador

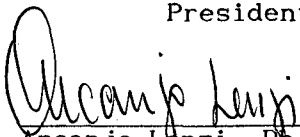

Arno Blass, Ph.D.

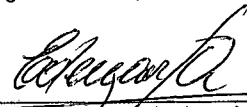
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA:


Samir Nagi Yousri Gerges, Ph.D.

Presidente


Arcanjo Lenzi, Ph.D.


Edemar Soares Antonini, M.Eng.

"...Meu filho o importante
é ter FÉ."

Belony Lourdes Trombeta Zanin

"Aquele que nunca desiste,
aquele que almeja de corpo e
alma ao infinito. Este é o
vencedor".

Confúcio

DEDICATÓRIA

A minha mãe Belony (in memorian) de quem sempre aprendi os ditames de FÉ e de LUTA, ao meu pai Altayr que sempre me guiou no caminho da honestidade para com as coisas e para com as pessoas, ao meu irmão Júlio que sempre me acolheu na incondicionalidade de sua amizade, a minha irmã Renata, aos meus sobrinhos Diego e Carlos Roberto, e à Leo que tem cuidado de todas estas pessoas.

AGRADECIMENTOS

- À CAPES e ao Ministério do Trabalho pelo apoio financeiro.
- A ANIMASEG pelo apoio ao desenvolvimento de um texto de norma técnica sobre a medição da atenuação via o uso de protetores auditivos.
- Ao Professor Samyr N. Y. Gerges, na qualidade de orientador oficial bem como aos seus "ensinamentos de vida".
- Ao Professor Arcanjo Lenzi, de quem sempre pude dispor em qualquer momento de valioso estímulo e apoio técnico.
- Ao Professor William Alves Barbosa (UFPR) e esposa, colega de curso, amigo valioso, a quem agradeço pelas muitas horas dedicadas na discussão de assuntos pertinentes a esta dissertação, na casa de quem fui sempre acolhido com enorme carinho.
- Ao Professor Marcus Antunius da Costa Nunes (UFES) e esposa, amigos de fé, daquela fé que nos ensina a amar o próximo, a vida e sobretudo perdoar.
- Ao Professor José João de Espíndola, pelo apoio, consideração e exemplo de vida.
- Ao Professor Arno Blass, pela mão firme no trato, mas sabedoria na compreensão.
- Ao Senhor Adilton Agenor Teixeira, com quem muito trabalhei durante a parte experimental desta dissertação.
- À Sula, pela excelente digitação deste trabalho.
- À Verinha e Adriana, pela amizade.

- Aos tios e tias: Maria, Mariza, Arlete, Bernadete, Terezinha, Gema, Neide, Soely, Mary, Ity, Jorge, Nelson, Benito, Félix, Antenor, Clávio e Darcy, pela torcida, amizade e carinho.
- As minhas mães de fé Izaira e Nívea.
- Aos amigos Elvira, Hilton e Eduardo Márcio, pelas palavras certas nas horas certas.
- Ao Murilo, Luís, Adilson, Betânia Hering e Cláudia Goldberg, pela amizade sincera.
- À Angela Sala pela nobreza de espírito e pelo amor e carinho a mim transmitidos.
- À Simone Queiroz pelo amor, pela amizade e pelo otimismo com relação a vida.
- À Zélia, Luigi, Maíke e Diomário, pelo carinho, respeito e exemplos de vida a serem seguidos.
- À Daniela, Volga e Cantidio Ferraresi, pelos muitos e bons momentos que passamos juntos.
- À Universidade Federal do Paraná, nas pessoas dos professores Ronaldo Mayrhofer e William Alves Barbosa, pelo empréstimo do filtro de 1/3 de oitava BK 1615, sem o qual não teria sido possível a realização das medições contidas no Capítulo 3 desta Dissertação.
- A todos os demais amigos dessa vida, o meu muito obrigado.

ÍNDICE

SIMBOLOGIA

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Revisão Bibliográfica.....	3
1.1.1 Desempenho dos protetores Auditivos: Como eles trabalham e o que os leva a falhar em ambientes reais de uso.....	3
1.1.2 Número único para medir a redução do ruído pelo protetor auditivo - NRR.....	7
1.1.3 Variabilidade Inter e Intralaboratoriais.....	7
1.1.4 Uso de cabeças artificiais para a medição da atenuação de ruído..	9
1.2 Conteúdo deste Trabalho.....	12

CAPÍTULO 2

TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DA ATENUAÇÃO.....	15
2.1 Revisão das Normas Técnicas.....	15
2.2 Construção e Ajuste de Dispositivos Necessários para a Realização das Medições.....	17
2.2.1 Cabeça artificial.....	17
2.2.2 Aparelho para a medição da força de contato.....	20
2.3 Qualificação dos Parâmetros Necessários as Medições.....	22
2.3.1 Campo acústico.....	23
2.3.2 Níveis de pressão sonora.....	33
2.3.3 Isolamento acústico.....	37

2.3.3.1 Medição do isolamento acústico.....	38
2.3.4 Pele artificial.....	47
2.3.5 Sinal elétrico da fonte sonora.....	47

CAPÍTULO 3

MEDIÇÕES DE ATENUAÇÃO E FORÇA DE CONTATO DA HASTE DO PROTETOR.....	49
3.1 Medição da Força.....	49
3.2 Medição da Atenuação.....	52
3.3 Redução de Ruído (Noise Reduction - NR) medido com analisador digital - FFT.....	59

CAPÍTULO 4

ESTUDO DOS CAMINHOS DE VAZAMENTO SONORO.....	64
4.1 Introdução.....	64
4.2 Transmissão Sonora Através dos Materiais Componentes da Concha.....	65
4.3 Transmissão Sonora Através do Vazamento Aéreo.....	66
4.4 Ensaios de Atenuação com Alterações nas Condições Características de um Protetor Auditivo.....	67
4.4.1 Vazamento aéreo - Aumento da força de contato.....	67
4.4.2 Vazamento aéreo - Uso de material selante.....	68
4.4.3 Atenuação do protetor sem almofada.....	69
4.4.4 Atenuação do protetor sem o revestimento interno da concha.....	75
4.4.5 Atenuação do protetor sem a almofada e sem o revestimento interno da concha.....	79
4.4.6 Atenuação do protetor com aumento na massa da concha.....	82
4.5 Vibração do Protetor.....	85

CAPÍTULO 5

5.1 Comentários e Discussões..... 93

5.2 Conclusões.....104

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....109

APÊNDICE I

COMO CALCULAR O NÚMERO ÚNICO PARA REDUÇÃO DO RUÍDO - NRR.....112

SIMBOLOGIA

NRR - Número Único para Medir a Redução do Ruído	[dB]
TL - Perda de Transmissão	[dB]
IL - Perda por Inserção	[dB]
NR - Redução de Ruído	[dB]
DTA - Dispositivo para Teste Acústico	
NPS - Nível de Pressão Sonora	[dB]
RF - Ruído de Fundo	[dB]
\bar{A} - Atenuação Média	[dB]
σ - Desvio Padrão	
T - Tempo de Reverbação	[s]
F - Força Exercida pelo Arco Contra as Faces Laterais da Cabeça Artificial	[N]

RESUMO

O uso do protetor auditivo representa uma solução temporária para o problema do ruído industrial, em razão das dificuldades da sua aceitação por parte dos trabalhadores. Porém, é a única solução, a curto prazo, para o grave problema dos elevados níveis de ruído em ambientes industriais. Este tipo de solução não deve ser considerado como definitivo, mas um paliativo, enquanto adequadas e econômicas medidas de controle de ruído sejam planejadas, desenvolvidas e ajustadas.

Neste trabalho é realizada uma revisão das normas técnicas que abordam o tema atenuação de ruído através do uso de protetores auditivos utilizando-se o Método Objetivo. Destaca-se que a utilização deste método, implica no uso de uma cabeça artificial.

Os parâmetros necessários para a medição da atenuação, são apresentados e discutidos. Com estes parâmetros devidamente ajustados, passa-se então a medição da atenuação propriamente dita. Além da atenuação sonora, são também medidas as forças exercidas contra as faces laterais da cabeça artificial pela haste de união das conchas do protetor.

Posteriormente, é realizado um estudo sobre os caminhos de vazamento sonoro que afetam o desempenho em atenuação dos protetores auditivos. Os caminhos aqui estudados são os seguintes: transmissão através do material do protetor, transmissão através do vazamento aéreo e vibração do protetor.

Buscando quantificar estes caminhos, modificações nas características e parâmetros do protetor auditivo são efetuadas. Dentre as modificações realizadas citam-se: a retirada da almofada, a retirada da espuma de revestimento da concha, o aumento na força de contato e aumento da massa da concha.

ABSTRACT

The use of hearing protectors present a temporary solution to industrial noise problems, mainly due to difficulties in the workers acceptance for their use. It is, however, the only short term solution available to the severe noise problems. This kind of solution must not be considered a definitive one, being usually adapted while proper noise control treatments are under way.

In this work the standards related to noise attenuation measurements of hearing protectors by the objective method is reviewed. It is here emphasized that this method requires the use of an artificial head.

The control of the parameters related to the noise attenuation is then measured. It is also measured the force with which the protector are pressed against the lateral faces of the head.

A study of the sound leakage path ways to the ear canal through the muffler is presented in order to analyse their attenuation performance. The main path ways are: transmission through the protector material, transmission through air leakage and protector vibration. Modifications in the such parameters have been tested to identify such path ways, for instance, muffers without foam, muffers with increased pressing force, larger mass, and muffers glued directly to the artificial head to reduce air leakages.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Em nossa crescente "sociedade do ruído", a necessidade de proteção, devido a exposição a níveis arriscados e ou incômodos de ruído, tem-se feito cada vez mais indispensável. O uso de dispositivos de proteção da audição é frequentemente a mais prática e muitas vezes a única solução para a proteção individual.

O uso do protetor auditivo representa uma solução temporária para o problema do ruído industrial, em razão das dificuldades de sua aceitação por parte dos trabalhadores. Porém, é a única alternativa a curto prazo para o grave problema dos elevados níveis de ruído nestes ambientes.

No Brasil, a necessidade do aumento de produção tem levado os ambientes industriais a níveis insuportáveis de ruído, trazendo consequências danosas à saúde do trabalhador. Dos males advindos da exposição a níveis elevados de ruído, podem ser citados: surdez, aumento da tensão arterial, dentre outros.

O monitoramento contínuo do ruído é uma tarefa difícil, portanto, a necessidade de um amplo programa de conservação da audição, em ambientes onde níveis elevados de ruído ocorrem, faz-se urgente. As pessoas devem ser conscientizadas dos perigos do ruído e da necessidade de proteção. Treinamentos e bons exemplos devem ser empregados para que se estabeleça e se mantenha o nível de conscientização dos operários. Eles devem ser encorajados ao uso dos protetores, mesmo em ambientes onde os níveis de pressão sonora forem inferiores a 85 dB(A) (nível máximo permitido pela legislação brasileira para 8 horas diárias de trabalho), caso detectem nestes ambientes algum desconforto causado pelo ruído ou alguma perda aparente de acuidade auditiva.

Os protetores auditivos são recentes em origem. Os assuntos referentes a este modelo de protetor avançaram rapidamente durante a década seguinte à Segunda Guerra Mundial.

O design, o desempenho e a avaliação dos protetores auditivos são assuntos de interesse corrente substancial. As questões científicas específicas que comandam as atenções incluem: a exatidão de mudança, em campo livre, do limiar de audibilidade como medida de proteção; a relação entre medições físicas com cabeça artificial e com cabeça real; o comportamento acústico dos protetores e os fatores que limitam o seu desempenho.

No Brasil, pouca pesquisa com profundidade tem sido desenvolvida neste campo.

Em nosso país o grande problema reside no fato de que os laboratórios especializados na medição da atenuação de ruído através do uso de protetores auditivos, utilizam, cada qual, uma normalização diferente. Em decorrência disto, torna-se difícil a comparação entre os resultados obtidos e uma padronização dos procedimentos experimentais. Como consequência deste fato, formou-se um Grupo de Trabalho - GT6/3 da ABNT, sob a responsabilidade da UFSC para elaborar um texto de norma brasileira.

O presente trabalho de Dissertação pode ser dividido em duas partes: 1 - Estudo da atenuação de ruído pelo uso de protetores auditivos utilizando uma cabeça artificial, método objetivo. 2 - Estudo dos caminhos de vazamento sonoro: transmissão através do material do protetor, vibração do protetor e transmissão através do vazamento aéreo.

A primeira parte é uma contribuição para um projeto global nacional, encomendado pelo Ministério do Trabalho, sobre Conservação da Audição e Controle de Ruído Industrial. Além da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC [1], o projeto tem a participação do Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Nos ensaios desenvolvidos com a cabeça artificial serão testados alguns modelos de protetores auditivos fabricados em nosso país, utilizando as Normas ANSI - American National Standard Institute e ISO - International Standard Organization, buscando mostrar a viabilidade de aplicação destas pelos demais laboratórios nacionais.

Na segunda parte deste trabalho serão analisados alguns dos caminhos de vazamento sonoro, que afetam o desempenho destes protetores. Os caminhos de vazamento sonoro são os seguintes: transmissão óssea, transmissão através do material do protetor, vibração do protetor e transmissão através do vazamento aéreo.

A transmissão óssea, não será aqui estudada, porque para tal análise seria necessário o uso de uma cabeça real. O estudo aqui desenvolvido será baseado no uso de uma cabeça artificial.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item apresenta uma revisão da principal bibliografia consultada durante o desenvolvimento deste trabalho.

1.1.1 Desempenho dos Protetores Auditivos: Como Eles Trabalham e o que os Leva a Falhar em Ambientes Reais de Uso.

Segundo Berger [2], para indivíduos com audição normal, a sensibilidade à condução óssea, para um ouvido não ocluído, é muito mais pobre do que a sua correspondente condução aérea como mostra a figura 1, curva A. Exemplificando, para 1000 Hz, a sensibilidade do ouvido é 60 dB menor em termos de condução óssea, em relação à condução aérea. Isto significa que, se o caminho da condução aérea for totalmente eliminado por um protetor, a sensibilidade do ouvido seria pior somente em 60 dB. Isto posto significa que, um "perfeito" protetor auditivo poderia, somente oferecer 60 dB de atenuação

para 1 KHz.

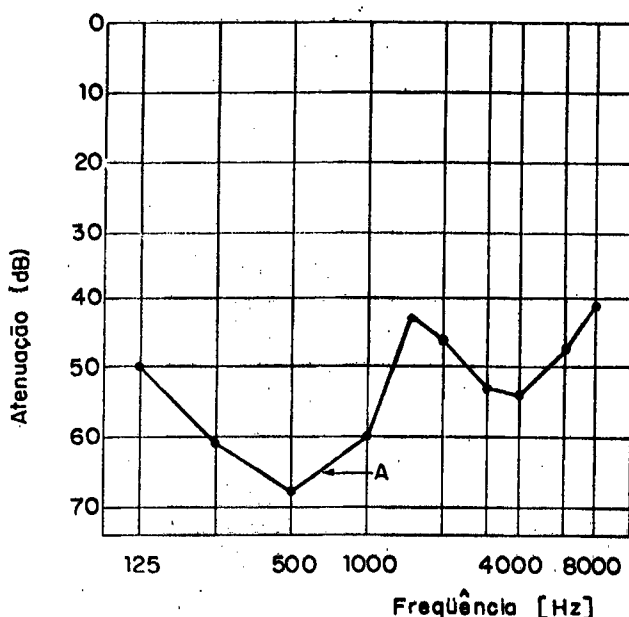


Figura 1 - Curva A - Razão da condução aérea para a condução óssea [2].

A utilização de um protetor auditivo modifica o caminho da condução aérea e o caminho da condução óssea. Distinguem-se então, a presença de quatro caminhos de condução sonora, conforme pode ser observado na figura 2 a seguir.

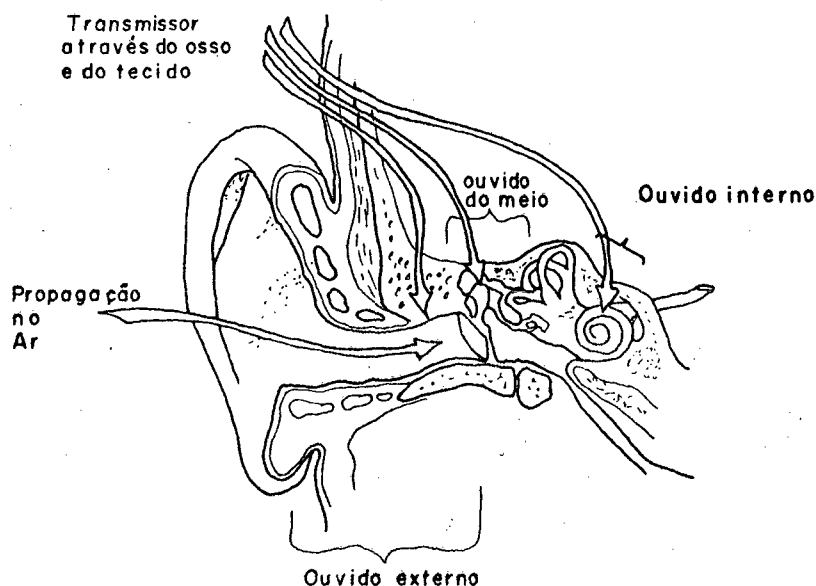
1. Transmissão Óssea

Visto que os protetores auditivos tem por objetivo reduzir a condução aérea e não a condução óssea, o caminho da transmissão óssea pode vir a ser um fator significativo na proteção da audição.

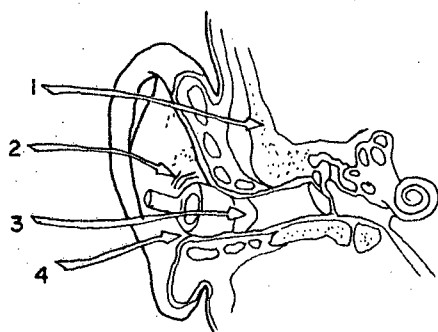
2. Vibração do Protetor

Devido a flexibilidade do canal do ouvido, os tampões podem vibrar de maneira semelhante a um pistão. Isto limitaria a sua atenuação em baixas frequências. Com relação aos protetores tipo concha, estes não podem ser fixados rigidamente à cabeça. A concha vibraria contra esta como um sistema massa-mola, com rigidez equivalente, governada pela flexibilidade da

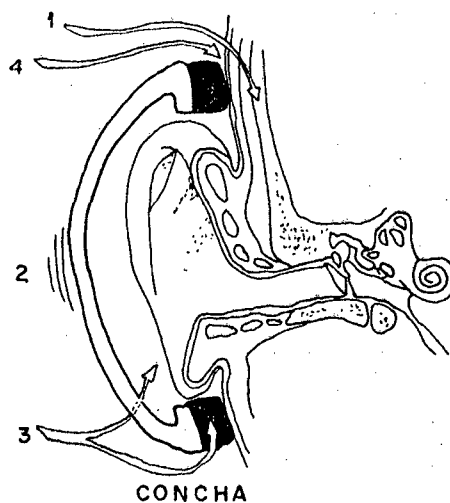
almofada do protetor, pela parte do ouvido e pelo volume externo de ar debaixo da concha.



a) OUVIDO SEM O PROTETOR



TAMPÃO



CONCHA

b) OUVIDO COM O PROTETOR

- 1) TRANSMISSÃO ATRAVES DO OSSO
- 2) TRANSMISSÃO ATRAVES DA VIBRAÇÃO DO PROTETOR
- 3) TRANSMISSÃO ATRAVES DO MATERIAL DO PROTETOR
- 4) TRANSMISSÃO ATRAVES DO AR (VAZAMENTO AÉREO)

Figura 2 - Caminhos de vazamento.

3. Transmissão Através do Material do Protetor

Para muitos tipos de tampões, em geral, pouco significacativo. Para os protetores tipo concha entretanto, como a área da face que eles envolvem é grande, a transmissibilidade através do material da concha e da almofada é significativa, podendo limitar a atenuação conseguida em certas frequências.

4. Vazamento Aéreo

Para que um protetor possa oferecer o máximo de proteção, deve-se ajustar apropriadamente o dispositivo de proteção, com o canal do ouvido ou com o lado da cabeça. Dispositivos de inserção devem ser colocados de maneira a ficar o mais ajustado possível ao contorno do canal do ouvido, assim como as almofadas dos protetores tipo concha, devem ser cuidadosamente ajustadas às áreas ao redor do ouvido externo. O vazamento aéreo pode reduzir a atenuação de 5-15 dB [2].

Quando um protetor auditivo é corretamente dimensionado, cuidadosamente fixado e ajustado sobre um indivíduo ou sobre uma cabeça artificial, o vazamento aéreo será minimizado e os demais caminhos serão as principais fontes de transmissão do som. No ambiente real de trabalho este não é o caso, e a transmissão do som devido ao vazamento aéreo frequentemente prevalece. O vazamento aéreo aparece quando os tampões não vedam devidamente o canal do ouvido ou ainda quando não há um selamento das conchas contra a cabeça. Alguns fatores contribuem para diminuir o desempenho dos protetores, tais como:

Conforto: Em muitas situações o melhor posicionamento de um protetor provoca certo desconforto. Quando as almofadas do protetor são firmemente pressionadas contra a cabeça, isso não se traduzirá em conforto. Embora alguns usuários possam adaptar-se, muitos não o conseguirão. Portanto, faz-se necessário selecionar protetores auditivos dentre os mais confortáveis disponíveis no

mercado, não esquecendo, no entanto, da importância do fator atenuação nesta escolha.

Utilização: Devido ao baixo conforto, falta de motivação e treinamento, os tampões podem ser indevidamente inseridos no canal do ouvido e os protetores tipo concha podem ser indevidamente ajustados.

Compatibilidade: Nem todos os protetores são igualmente adaptáveis a todos os canais auditivos e formatos de cabeça.

Reajustamento: Em condições típicas de uso os usuários executarão movimentos fisiológicos, tais como: mastigar, falar e deglutir. Movimentos estes que serão executados, em última análise pela mandíbula. Estas atividades podem causar o rompimento da vedação entre as almofadas do protetor e a cabeça, ou então fazer com que certos tampões trabalhem livres ou soltos.

Mal Uso: Frequentemente, os usuários modificam a posição do protetor, para aumentar o conforto, muitas vezes até, deformando a haste de fixação dos protetores, para reduzir sua tensão.

x

1.1.2 Número Único para Medir a Redução do Ruído pelo Protetor Auditivo

Os resultados dos testes laboratoriais para os protetores auditivos consistem de valores de atenuação média e desvio padrão para nove frequências. A redução destes dados para um número único, possibilita um meio simples e eficiente para selecionar um dispositivo de proteção da audição. Este número único denomina-se "Noise Reduction Rating" - NRR - [4]. O NRR é o único em vigor proposto pelo "Environmental Protection Agency" - EPA.

O método para a obtenção do "Noise Reduction Rating", NRR [4], para qualificação de protetores auditivos através de número único, é apresentado no apêndice I.

1.1.3 Variabilidade Inter e Intralaboratoriais

Uma consideração que se faz necessária sobre os dados de

atenuação obtidos em laboratório diz respeito à testes, quando provenientes de diferentes laboratórios.

Para se processar uma avaliação a respeito do assunto, a U.S.A. - Environmental Protection Agency - EPA (citado por E. H. Berger [3]), organizou testes envolvendo oito laboratórios. Foram testados quatro modelos de protetores auditivos que representam uma larga faixa de produtos disponíveis no mercado. Os resultados mostraram variações significantes entre os laboratórios, com relação aos valores de atenuação média e desvio padrão. Isto conduziu a diferenças substanciais nos valores obtidos do NRR, conforme pode ser visto na figura 3 [3].

A variação observada foi, provavelmente, devida às diferenças entre a maneira de cada laboratório fixar os protetores auditivos na cabeça do indivíduo, bem como à seleção e treinamento dos indivíduos para o teste.

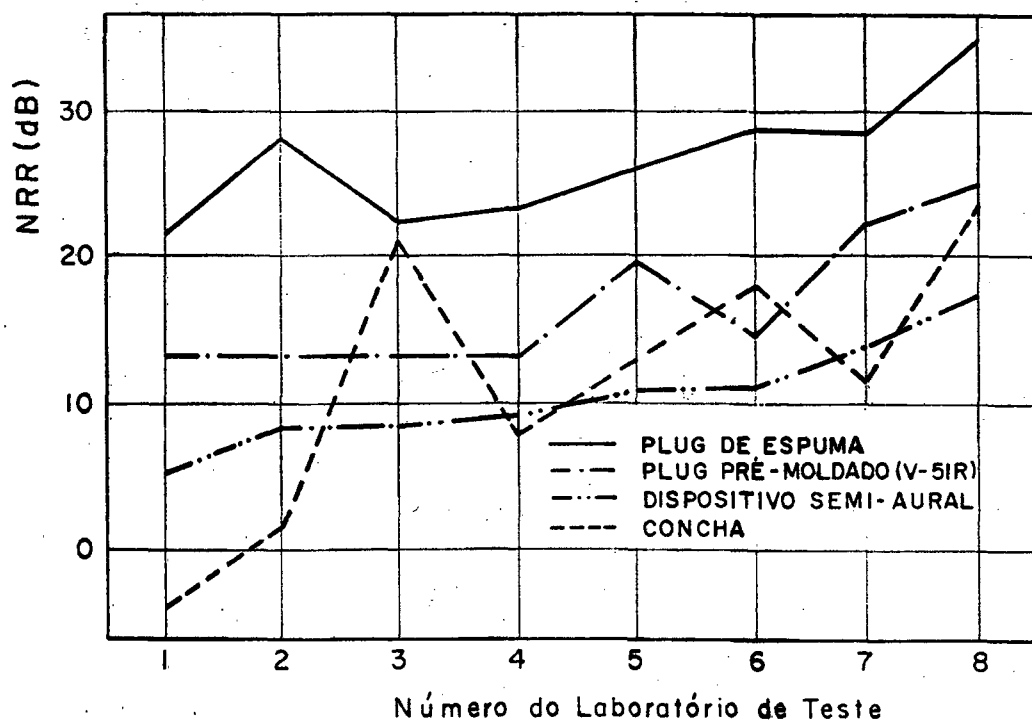


Figura 3 - Comparação entre os valores do NRR medidos em diferentes laboratórios [3].

Os resultados demonstraram que é impossível a tarefa de se organizar uma classificação de um grupo de protetores auditivos, baseando-se nos valores de atenuação obtidos. Isto somente será possível quando, indubitavelmente, todos os dados forem provenientes de um mesmo laboratório. Neste caso, outra é a questão: se os dados são então provenientes de um mesmo laboratório, como se avaliar a exatidão e a possibilidade de repetição dos valores de atenuação e ou NRRs obtidos?

As características das amostras subsequentes de protetores podem variar daquelas inicialmente testadas, como pode ocorrer uma variação das técnicas de análise e dos indivíduos selecionados para a análise. Estas variações podem ocorrer em períodos de anos ou até meses.

Berger (1983) [3], tem fornecido dados que ilustram muitos desses efeitos e, baseado em seus resultados, chegou-se à conclusão que, variações ligeiramente menores do que 3 dB nos valores NRR não podem ser considerados como tendo qualquer importância prática.

1.1.4 Uso de Cabeças Artificiais para a Medição da Atenuação de Ruído

Antes de ser feita uma análise sobre os modelos de cabeças artificiais, faz-se necessário que se determine o significado de alguns parâmetros que aparecerão no contexto.

Perda de Transmissão (Transmission Loss - TL): É normalmente definido como a diferença entre a potência sonora incidente e aquela transmitida por uma barreira, divisão ou a concha de um protetor em particular.

Perda por Inserção (Insertion Loss - IL): É a diferença entre os níveis de pressão sonora, ou os níveis de potência sonora, ou os níveis de intensidade, medidos num ponto específico antes e após a aplicação de um determinado tratamento de redução de ruído.

Redução de Ruído (Noise Reduction - NR): É a diferença entre os níveis de pressão sonora incidente e transmitido, como por exemplo, a diferença entre a

entrada e a saída de uma concha. A aplicação do NR requer medições no mesmo espaço de tempo para a entrada e para a saída do protetor auditivo.

DTA - Dispositivo para Teste Acústico (Acoustical Test Fixture - ATF):
Utilizado para simular o uso de uma cabeça artificial para os testes acústicos.

A seguir será feita uma análise dos dispositivos para Teste Acústico que encontram-se disponíveis na literatura corrente.

Cabeça Artificial - ASA - "American Society of America"

Bolka (1972) [6], conduziu uma série de experimentos com uma cabeça tipo ASA usando como pele artificial 6 mm de castvinyl com uma dureza shoore "00" de 20 ± 5 . O microfone foi montado coplanarmente com a pele. O isolamento de ruído da cabeça foi de aproximadamente 60 dB para todas as frequências. Os dados obtidos mostraram discordâncias na medição da atenuação, via métodos objetivo x subjetivo, mas na classificação de Spearman, um teste de correlação demonstrou que "os testes com cabeça artificial concordam com as medições subjetivas em frequências abaixo de 2 KHz, inclusive".

Whittle e outros (1978) [7], avaliaram os testes ASA e ISO. Eles mediram os valores do IL em 1/3 de oitava para um campo difuso e compararam os dados com aqueles obtidos com a norma BS 5108-1974, usando 12 pessoas.

As diferenças entre os procedimentos de testes objetivos e subjetivos, mostraram geralmente medições de atenuação maiores nos testes objetivos, especialmente para altas frequências.

Whittle e outros, compararam os dados relativos aos modelos de cabeça por eles testados e chegaram a conclusão de que a geometria da cabeça não foi um fator que afetou a determinação do IL, pois os resultados estavam concordantes. Foram também analisados os efeitos do uso da pele artificial sobre os valores do IL, chegando-se à conclusão de que não havia qualquer relação sistemática desta com a frequência ou tipo do protetor.

Brinkmann (1977) [8] e Brinkmann e Serra (1978) [9], também avaliaram três cabeças artificiais: cabeça ASA (com 6 mm de pele de vinyl), a cabeça ISO e uma cabeça de madeira. Como Whittle e outros, eles concluíram que a forma da cabeça artificial é insignificante e que para haver repetibilidade dos resultados é importante a colocação cuidadosa dos protetores sobre a cabeça artificial.

Cabeça Artificial - ISVR "Institute Sound and Vibration Research"

Chillery (1980) [10], realizou experimentos utilizando como pele artificial poliuretano de densidade 1,34 g/cm e dureza shoore "00" igual a 40. Ele ratificou os resultados de Whittle e outros (1978), mostrando a insignificância da pele artificial tanto para as almofadas dos protetores preenchidas com espuma, como aquelas preenchidas com líquido. O isolamento acústico da cabeça artificial foi ≤ 60 dB para a faixa de 63 Hz até 8 KHz.

Chillery também registrou a importância do cuidado no posicionamento do protetor sobre a cabeça de teste.

Cabeça Artificial - Lucas

Uma simulação dos demais Dispositivos de Teste Acústico foi registrada por Russel e May (1976) [11]. Seu objetivo foi desenvolver um método simples e rápido para selecionar os protetores auditivos que ofereceriam melhor proteção aos empregados de sua companhia.

Sua cabeça artificial consistiu de um ouvido artificial BK 4153, montado dentro de uma cabeça de madeira com forma e contornos humanos. Tanto a forma como a largura da cabeça eram ajustadas.

Russel e May verificaram o desempenho de seu DTA pela medição do NR em 4 diferentes protetores. Uma concha de cada um destes protetores foi perfurada para que fosse possível o posicionamento de um microfone BK 4134. O NR foi medido quando o protetor foi posicionado sobre cabeças humanas e quando

posicionado sobre a cabeça artificial. As diferenças foram menores do que 5 dB. O isolamento acústico conseguido pelo teste de Lucas foi aproximadamente o seguinte: 30-40 dB para 40-500 Hz e 40-50 dB para 500-2000 Hz.

Russel e May registraram dados onde mostraram o efeito do comprimento do cabelo, largura da cabeça, forma da cabeça e tratamento das superfícies laterais da cabeça. O fator mais significativo que afetou o NR, foi o comprimento do cabelo, com a diferença entre "cabelos curtos" e "cabelos longos" atingindo perdas de até 10 dB de atenuação na região das médias frequências. O uso de cabeças artificiais sem cabelos forneceu diferenças acentuadas na região de 500 Hz, sendo esta diferença da ordem de 25 dB.

1.2 Conteúdo deste Trabalho

Capítulo 1

No Capítulo 1 procura-se mostrar a importância do uso dos protetores auditivos como uma solução ao problema do controle de ruído industrial. Salienta-se no entanto, que esta é uma solução, até que soluções mais eficazes no que tange ao controle do ruído nos ambientes industriais foram tomadas.

Com relação as medições de atenuação de ruído via uso de protetores auditivos, são apresentadas considerações sobre o uso do Método Subjetivo e do Método Objetivo.

Como o trabalho será calcado no Método Objetivo, ou seja, aquele método que usa uma cabeça artificial na obtenção dos dados de atenuação, é então apresentada uma comparação entre os diversos tipos de cabeças artificiais existentes.

Capítulo 2

No Capítulo 2, faz-se uma revisão das normas técnicas destinadas

a medição da atenuação de ruído pelo uso de protetores auditivos. São listadas as principais características das normas ANSI e ISO.

São apresentados e discutidos os detalhes construtivos da cabeça artificial e do medidor da força de contato.

Por fim, é realizada a apresentação, medição e discussão dos parâmetros necessários para as medições das atenuações de ruído via o uso dos protetores auditivos. Os parâmetros que serão estudados são os seguintes: 1 - Campo Acústico; 2 - Nível de Pressão Sonora para as bandas de frequência testadas; 3 - Isolamento Acústico; 4 - Sinal elétrico da fonte sonora que excita o campo acústico dentro da câmara de testes; 5 - Pele Artificial.

Capítulo 3

No capítulo anterior foram apresentados todos os parâmetros envolvidos nas medições de atenuação sonora com o uso dos protetores auditivos.

Com estes parâmetros afinados e ajustados o que desenvolve-se no capítulo 3 são as medições de atenuação sonora propriamente ditas. Estas serão realizadas envolvendo um total de 30 protetores, de três marcas diferentes. Estas marcas devido a questão ética serão denominadas de: protetor tipo "X", tipo "Y" e tipo "Z".

No capítulo 3 são apresentadas também os resultados referentes as medições da força de contato, ou seja, a força que a haste de ligação das duas conchas exerce contra as faces da cabeça do usuário.

Capítulo 4

No capítulo 4 serão estudados os caminhos de vazamento sonoro (ver Capítulo 1) através dos quais se supõe que o protetor perca sua eficiência em atenuação. Estes caminhos são: transmissão de ruído através dos materiais componentes da concha; transmissão de ruído através da vibração do

protetor e transmissão de ruído através da condução óssea.

A condução óssea não será estudada, porque o Método Objetivo no qual este trabalho será calcado não incorpora em sua análise este fator.

Serão efetuadas algumas modificações nos protetores auditivos buscando com isso analisar os efeitos dos caminhos de vazamento nos valores de atenuação.

Serão analisados os efeitos que se observam quando é retirada a almofada da concha, quando é retirada a espuma de revestimento interno ou quando ambos são retirados.

Será analisado que efeito sobre a atenuação ocorre quando a força de contato é aumentada e também que efeito sobre a atenuação ocorre quando aumenta-se a massa da concha do protetor.

Por fim será avaliado o efeito de vibração da concha do protetor como um possível caminho de vazamento sonoro.

Capítulo 5

O Capítulo 5 será destinado a apresentar as sugestões e conclusões captadas em cada fase do trabalho experimental, especialmente as obtidas nos Capítulos 2, 3 e 4, bem como as possíveis falhas detectadas neste trabalho.

Este trabalho não pretende e nem irá pretender ser terminal com relação ao tema "protetores auditivos", pois a intenção aqui, é dar uma contribuição ao assunto, especificamente os efeitos dos parâmetros do projeto do protetor sobre a atenuação de ruído conseguida com o uso deste.

CAPÍTULO 2

TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DA ATENUAÇÃO

Neste Capítulo será apresentada uma revisão das normas técnicas referentes a medição da atenuação de ruído através de protetores auditivos utilizando-se uma cabeça artificial. Serão também apresentados os detalhes de construção dos dispositivos necessários para as medições de atenuação e medições da força de contato. Finalmente, apresenta-se a qualificação dos parâmetros necessários as medições: níveis de pressão sonora, isolamento acústico, pele artificial, sinal elétrico da fonte sonora e campo acústico de testes.

2.1 REVISÃO DAS NORMAS TÉCNICAS

A primeira norma que descreveu um método para se medir a atenuação fornecida por protetores auditivos surgiu em 1957 (ANSI Z24.22) [12]. Foi minuciosamente revisada em 1974 com a publicação da ANSI S3.19 [13] e esta foi revisada em 1984 com a publicação da ANSI S12.6 [16].

A norma ANSI Z.2422 determinava que as medições fossem realizadas dentro de um campo sonoro direcional, normalmente conseguido dentro de uma câmara anecóica. O som usado nos testes eram tons puros, os quais não são característicos de ambientes industriais.

As normas ANSI S3.19 e S12.6, especificam que a excitação do campo acústico da sala de testes deve ser em bandas de 1/3 de oitava. Para a ANSI S3.19, o tempo de reverberação da sala de testes deve ser $0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,6 \text{ s}$ e para a ANSI S12.6 o tempo de reverberação deve ser $T \leq 1,6 \text{ s}$, isto significa que o campo é quase "campo livre".

Todas as 3 normas descrevem métodos de laboratório para medir a atenuação de ruído pelo uso de protetores auditivos. Provavelmente o mais velho, e certamente o mais comum método de medição da atenuação pelo uso de protetores auditivos é a técnica da mudança do limiar de audibilidade. Conceitualmente, a idéia é muito simples: determina-se o limiar da audibilidade de um indivíduo sem o protetor, e posteriormente, o limiar com o uso do protetor. A diferença entre estes dois limiares é a atenuação, ou mais precisamente, o IL - "Insertion Loss" - (Ver Capítulo 1) fornecido pelo dispositivo.

As 3 normas citadas destinam-se à determinação da atenuação por meio do método subjetivo, usando a técnica da mudança do limiar da audibilidade.

A norma ANSI S3.19 - 1974 possui também em seu contexto a descrição de um método objetivo, ou seja, um método que utiliza uma cabeça artificial.

No método subjetivo, os resultados obtidos estão mais perto da realidade pois levam em consideração o problema da condução óssea. Apresenta como desvantagens o fato de ser um método caro, demorado e possuir limitação quanto aos níveis de pressão sonora que podem ser estudados.

O Método Objetivo é conceitualmente, o mais atrativo de todos os métodos pois, elimina a necessidade do uso de pessoas para efetuar as medições, fornece exatidão e repetibilidade dos resultados, e é ainda adequado para o desenvolvimento do produto e no monitoramento do controle de qualidade. Apresenta como falha, o fato de não incorporar diretamente o efeito do caminho de condução óssea. Este é incorporado aos resultados de atenuação por meio de ajustes computacionais posteriores [15] ou então é ignorado totalmente.

A ANSI S3.19 - 1974 foi a última norma americana a conter uma descrição sobre o método objetivo. A ANSI S12.6 - 1984 passou a considerar este método como uma norma em separado.

O Método Objetivo é também descrito pelas normas ISO/DIS 6290 [15] E BS 6344 [16]. Esta última é basicamente similar a ISO/DIS-6290. O texto da norma ABNT elaborado pelo GT6/3 é baseada na ANSI S3.19 (1974) e ISO/DIS-6290

A seguir é apresentada uma comparação entre as características das normas ANSI S3.19 e ISO/DIS 6290, conforme a tabela 2.

2.2 CONSTRUÇÃO E AJUSTE DE DISPOSITIVOS NECESSÁRIOS PARA A REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES

Os dois dispositivos necessários para a realização do trabalho experimental são: a cabeça artificial e o aparelho para medição da força de contato.

2.2.1 Cabeça Artificial

A cabeça artificial foi construída de acordo com as dimensões especificadas pela norma [13]. Tais dimensões buscam reproduzir as dimensões de uma cabeça humana adulta.

A cabeça artificial deve ser construída com material rígido e de alta densidade. Esta consideração torna-se pois, como veremos ao tratarmos do isolamento acústico da cabeça artificial o fator determinante deste isolamento.

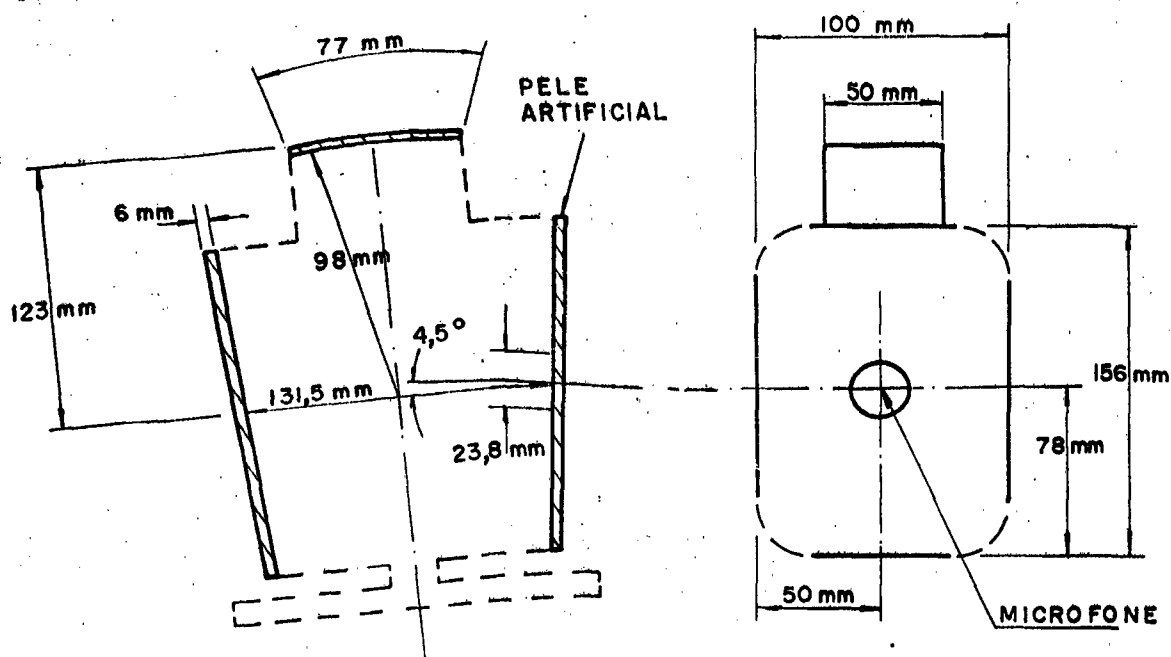
Outro fator relevante na construção da cabeça artificial é quanto a ocagem da mesma. Uma cabeça artificial jamais deve ser oca, evitando assim, ressonâncias acústicas na cavidade bem como vazamentos sonoros.

Tabela 2 - Comparação entre a Norma ANSI e ISO.

ESPECIFICAÇÃO	ANSI	ISO
Excitação do campo Acústico	Ruído de banda larga filtrado em Ruído 1/3 de oitava	Ruído Rosa Filtrado em 1/3 de oitava
Características da Sala de teste	Campo sonoro com incidência aleatória	Campo sonoro com incidência aleatória
Isolamento Acústico	60 dB por cada banda de teste	50 dB: 63 até 250 Hz 65 dB: 315 até 400 Hz 55 dB: 500 até 8000Hz
Níveis de pressão sonora mínima por banda (NPS)	85 dB	75 dB: 63- 250 Hz 90 dB: 315- 4000Hz 85 dB: 5000- 8000Hz
Dureza da pele artificial	Dureza shoore "00" 20 ± 5	Dureza 30 - 85 IRHD
Microfone para as medições	microfone de pressão	microfone de pressão
Microfone para avaliação do campo acústico	microfone direcional	microfone direcional ou microfone omnidirecional
Ruído de Fundo RF (dB)	NPS - RF ≥ 60 (dB)	NPS - RF ≥ 10 (dB) * NPS e RF são medidos com o protetor colocado na cabeça

Primeiramente construiu-se uma cabeça em madeira do tipo angelin, que possuía um peso de 2,04 Kg. Posteriormente, outra cabeça foi construída em ferro fundido com peso de 17,5 Kg.

A figura 4 mostra os detalhes construtivos da cabeça artificial [15]. Na figura 4 as linhas tracejadas não são obrigatórias. O importante na figura são as faces laterais da cabeça, sua inclinação e o topo da mesma. As faces laterais e o topo serão recobertos com uma camada de pele artificial com uma espessura de 6mm ± 1mm.



Obs: tolerância de ± 2 mm

Figura 4 - Detalhes para a construção de uma cabeça artificial.

Um furo passante deve ser executado conforme indicado na figura 4. Este furo deve ser executado de maneira tal que, o pré-amplificador seja introduzido sob pressão. Este procedimento é feito afim de se evitar possíveis vazamentos sonoros os quais comprometeriam as medições de isolamento acústico, bem como, as medições de atenuação. A norma recomenda que este furo tenha um diâmetro de aproximadamente 1", e para o caso do uso de um microfone com diâmetro menor do que 1", um adaptador para este microfone deverá ser usado. Neste trabalho será utilizado um microfone com diâmetro externo de 1/2" sem adaptador. O furo deve ficar perpendicular a uma das faces da cabeça artificial sendo que, pela outra face será introduzido o pré-amplificador. Ao pré-amplificador será posteriormente acoplado um microfone, ficando a membrana do mesmo coplanar à face lateral da cabeça artificial.

2.2.2 Aparelho para Medição da Força de Contato

Os protetores auditivos, através da haste de contato das duas conchas, exercem sobre a cabeça dos usuários uma determinada força.

A norma ANSI S3.19 - 1974, contém em suas notas um modelo de sistema para a medição da referida força, como pode ser visto na figura 5.

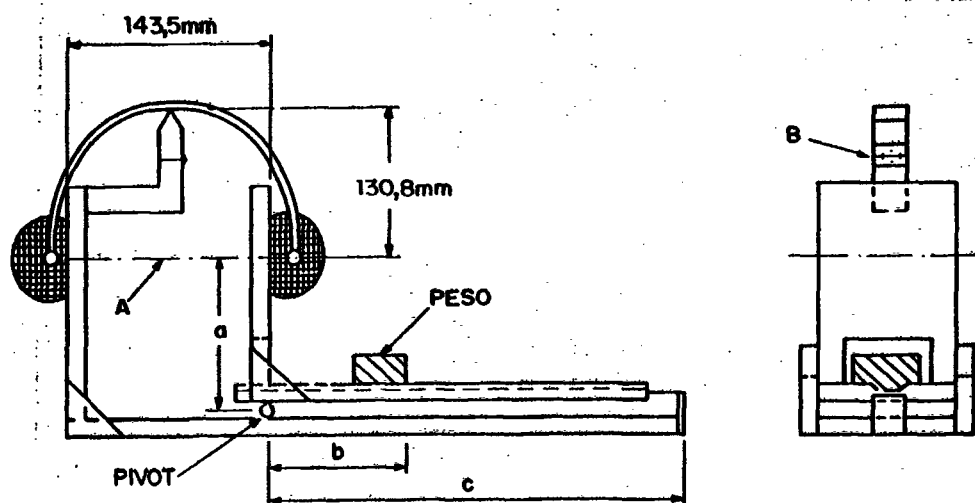


Figura 5 - Medidor da força de contato proposto pela norma ANSI S3.19.

Baseados neste modelo, desenvolvemos um sistema que se diferencia do proposto pela norma em dois pontos basicamente:

- 1 - No posicionamento do peso P.
- 2 - Na colocação do peso E, conforme pode ser visto na figura 6, que serve para balancear o sistema.

A seguir, são descritos os detalhes construtivos do sistema de medição da força de acoplamento:

- 1 - A: A linha de centro passa através do ponto pivotal da ligação entre a concha e o arco.
- 2 - B: Depois de se obter a distância correta no arco, deve-se remover o indicador para então, medir-se a força.

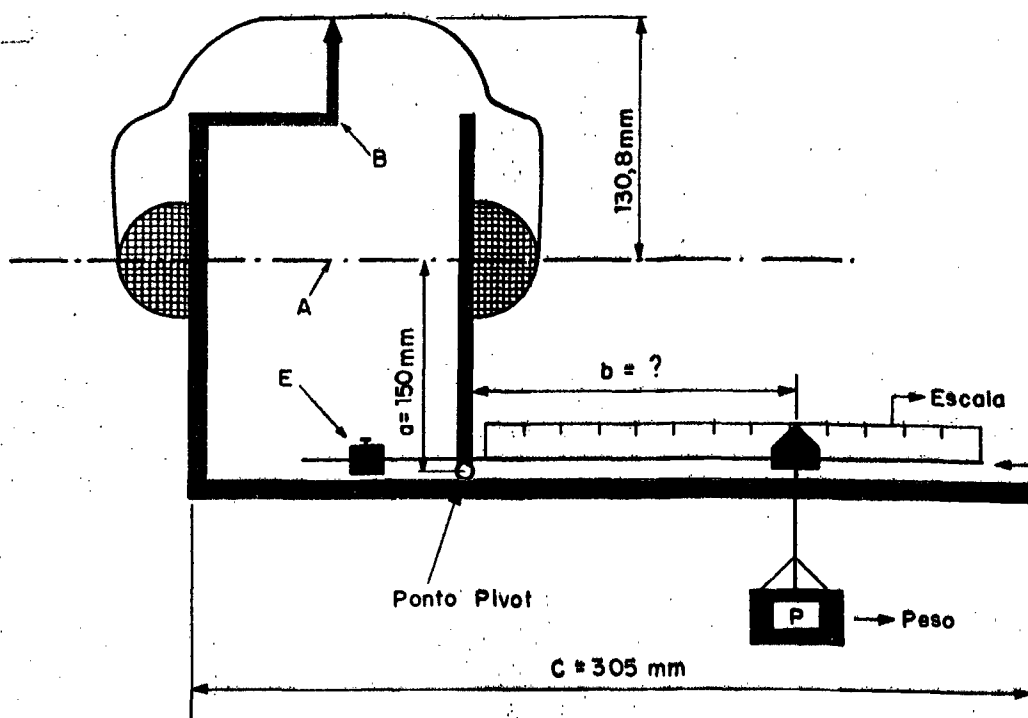


Figura 6 - Medidor da força de contato utilizado neste trabalho.

3 - Construção: Em termos práticos qualquer material pode ser utilizado para este dispositivo, desde que, seja suficientemente rígido. As únicas dimensões críticas são: a distância de separação de extensão do arco (130,80 mm) sendo que, para melhores resultados a dimensão "a" deve estar entre 120 mm e 150 mm e a dimensão "c" deve ser de 305 mm. Uma articulação livre com um pequeno pivô central é satisfatória para ser usado como ponto pivotal. A norma recomenda o uso de um peso de 900 gramas. No nosso caso, utilizamos um peso de 1000 gramas.

4 - Determinação da Força: Com o posicionador alinhado, a distância entre as duas faces deve ser de 143,5 mm \pm 2,00 mm. Para a determinação do balanceamento do sistema utiliza-se o peso "E" ajustável. A força "F" correspondente à distância "b" do peso, em relação ao centro do ponto pivotal, é determinada pela expressão:

$$F = \frac{b \cdot P}{a}$$

(1)

onde:

F = Força de acoplamento em Newtons [N].

b = Distância do peso P ao centro do pivô milímetros [mm].

a = Distância do centro do pivô até o centro das conchas. Esta distância pode variar de 120 a 150 mm. Para o nosso projeto

a = 150 mm.

P = Peso de 1000 g.

5- Operação: O protetor a ser medido é posicionado de tal forma que os pontos de ligação do arco com as conchas fiquem sobre as marcas da linha de centro, e o arco fique em contato com o prolongamento vertical central do dispositivo. O prolongamento é, então removido, e o peso posicionado onde os indicadores estiverem alinhados. Quando os indicadores estão alinhados, a distância de 143,5 mm é automaticamente satisfeita.

6 - Precisão: O posicionamento das conchas deve ser feito com cuidado, afim de assegurar que o ponto de ligação da concha com o arco está à distância "a" do ponto pivotal. Em termos práticos esta é a maior fonte de erro. Com cuidado, o erro de posicionamento será menor do que 3,0 mm para um erro máximo de $3 \text{ mm} \div 120 \text{ mm} = 2,5\%$ (2,0% para a = 150 mm). Estes dados são provenientes da norma ANSI S3.12 - 1974.

2.3 QUALIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS NECESSÁRIOS AS MEDIÇÕES

Para que os ensaios de atenuação de ruído, pelo uso de protetores auditivos com cabeça artificial, possam ser desenvolvidos, faz-se necessário o cumprimento de certos pré-requisitos.

A norma ANSI S3.19 - 1974 estabelece, como pré-requisitos os seguintes itens:

1 - Campo acústico

2 - Nível de pressão sonora para as bandas de frequência testadas

3 - Isolamento acústico

4 - Sinal elétrico da fonte sonora que excita o campo acústico dentro da câmara de testes

5 - Pele artificial

A seguir, faremos a descrição de cada um dos itens citados acima, bem como comentários a respeito dos dados experimentais obtidos, conforme se fizer necessário.

2.3.1 Campo Acústico

O campo acústico é um parâmetro que deve ser avaliado para que as medições de atenuação sejam passíveis de credibilidade.

As normas ANSI S3.19 [15] e ISO/DIS 6290 [17], recomendam que o ensaio seja efetuado em uma sala (ambiente) com características de campo dincidência aleatória.

A norma ANSI, estabelece a necessidade do uso de um microfone direcional, cuja resposta polar em campo livre deve ser de pelo menos 10 dB para as posições frente-costas e frente-lado. Esta rejeição deve ocorrer para cada uma das bandas de frequência testadas. O campo sonoro será então considerado aproximadamente aleatório se os níveis de pressão sonora, captado pelo microfone após este ser rodado de 360° em cada um dos 3 plano perpendiculares da sala de testes, permanecerem dentro da variação permitida pela tabela 3.

Tabela 3 - Avaliação do campo acústico - ANSI.

REJEIÇÃO PARA O MICROFONE DE CAMPO LIVRE (dB)	VARIAÇÃO ADMISSÍVEL (dB)
> 25	6
20	5
15	4
10	3
< 10 microfone não adequado	

Observando-se a tabela 3, notamos por exemplo que se a rejeição do microfone de campo livre for de 20 dB ele poderá apresentar uma variação de 5 dB, ou seja, ele terá sua rejeição entre 15 e 25 dB. Se a rejeição para as posições frente-costas e frente-lado estiver dentro desta faixa o campo sonoro estará qualificado. Se a rejeição apresentada pelo microfone for menor do que 10 dB o mesmo não estará adequado para a qualificação do campo acústico.

Para a norma ISO, a avaliação do campo acústico segue procedimento diferentes. Com a cabeça artificial dentro da câmara de testes um ponto referência é definido como sendo o ponto médio da linha de contato dos centradas faces laterais da cabeça artificial. A cabeça é então removida da câmara os níveis de pressão sonora são medidos com o uso de um microfone omnidirecional, em seis posições diferentes. Estas posições deverão estar a 15 cm do ponto de referência, nas direções: frente-costas, direita-esquerda e acima-abaixo. níveis de pressão sonora medidos em cada uma dessas posições, quando comparados com os níveis de pressão sonora medidos no ponto de referência, deverão ter uma variação máxima de $\pm 2,5$ dB. Para as posições direita-esquerda, a diferença entre os níveis de pressão sonora não deverão exceder 3 dB. O texto da norma ABNT elaborada pelo GT6/3 possibilita a escolha entre a qualificação do campo acústico com o uso das normas ANSI ou ISO. Devido a não disponibilidade de microfone direcional (norma ANSI), será

utilizada a norma ISO para qualificação do campo acústico na sala de testes.

Seguindo a orientação da norma ISO, o campo acústico dentro da câmara de testes foi avaliado em três pontos, escolhidos aleatoriamente.

As tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9, mostram os resultados obtidos para os pontos um, dois e três.

Observando-se a tabela 4, percebe-se que na faixa de 400 Hz até 8 KHz os valores obtidos para as diferenças de pressão sonora nas posições direita, esquerda, frente e costas, com relação ao ponto de referência (PR) estão dentro da tolerância de $\pm 2,5$ dB. Isto posto, pode-se concluir que, nesta faixa de frequências tem-se um campo sonoro qualificado. Na faixa de 125 Hz até 315 Hz, as diferenças entre os níveis de pressão sonora caem fora da faixa de tolerância em algumas posições.

Tabela 4 - Avaliação do Campo acústico no ponto 1 nas posições frente (F), costas (C), direita (D), esquerda (E), e ponto de referência (PR).

FREQ [Hz]	D	E	D-E	(PR)	D-PR	E-PR	F	C	F-R	C-PR
125	117,5	110,5	7	113,2	4,3	2,7	109,3	119	3,9	5,8
160	108,5	120,5	12	117,5	9,0	3,0	105,5	121,6	1,2	4,1
200	111,5	110,5	1	113	1,5	2,5	111	118	2,9	5,0
250	113,5	117,5	4	116	2,5	0,5	116,5	115,2	0,5	0,8
315	117,3	113,5	4	114,8	1,3	1,3	116	111	1,2	3,8
400	113	110	3	112,5	0,6	2,4	115	112	2,5	0,4
500	112,5	112,5	0	112,2	0,3	0,3	113	112,6	0,8	0,4
630	116	113,3	2,7	115	1,0	1,7	116,2	115,4	1,2	0,4
800	116	114,5	1,5	116,4	0,4	1,9	116	115,4	0,4	1,0
1000	116	114	2,0	116	0,0	2,0	116	115	0,0	1,0
1250	113	114	1,0	113	0,0	1,0	113,6	113,8	0,6	0,8
1600	113,4	114	0,6	112,4	1,0	1,6	114	113,4	1,6	1,0
2000	109,6	110	0,4	110	0,4	0,0	110	110	0,0	0,0
2500	110,2	111	0,8	110	0,2	1,0	110,9	109,4	0,4	0,6
3150	105	106	1,0	106	1,0	0,0	105,6	106	0,4	0,0
4000	109,6	110	0,4	109	0,6	1,0	110,8	110,2	1,8	1,2
5000	111,2	110,4	0,8	102,6	1,6	0,8	111	111	1,4	1,4
6300	109,8	110	0,2	109,4	0,4	0,6	110,2	110	0,8	0,6
8000	108,4	107,8	0,6	107,8	0,9	0,0	108,2	108	0,4	0,2

Tabela 5 - Avaliação do campo acústico no ponto 1 nas posições - acima e abaixo

FREQ[Hz]	ACIMA	ABAIXO	PONTO REF.	ACIMA-PR	ABAIXO-PR
125	104,4	105,2	113,2	1,2	2,0
160	106	116,8	107,5	1,5	0,7
200	104	116	113	9,0	13
250	115,4	116	116	0,6	0,0
315	113,8	116,6	114,8	1,0	1,8
400	113	114,8	112,4	0,6	2,4
500	111	111,6	112,2	1,2	0,6
630	111,4	107,8	115	3,6	7,2
800	114	114,2	116,4	2,4	2,2
1000	114	114,0	116	2,0	2,0
1250	113	113	113	0,0	0,0
1600	111,2	113	112,4	1,2	0,6
2000	108,4	108,8	110	0,6	0,4
2500	109,4	109,6	110	0,6	0,4
3150	104,6	109,6	109	1,4	0,8
4000	110,4	109,6	109	1,4	0,6
5000	110,8	110	109,6	1,4	0,4
6300	108,4	108,6	109,4	1,0	0,8
8000	107,4	107	107,8	0,4	0,8

Tabela 6 - Avaliação do campo acústico no ponto 2 nas posições: direita (D), esquerda (E), frente (F), costas (C) e ponto de referência (PR).

FREQ [Hz]	D	E	D-E	(PR)	D-PR	E-PR	F	C	F-R	C-PR
125	96	119	23	110,8	14,8	8,2	118,6	104	7,8	6,8
160	116	108,4	7,6	107,8	8,2	0,6	118	101	10,2	3,8
200	108,6	110,2	1,6	111,8	3,2	1,6	114,4	111,4	2,6	0,4
250	113,6	114	0,4	115,8	2,2	1,8	114,6	116	1,2	0,2
315	113,4	117	3,6	116,5	3,2	0,4	114,4	115,6	2,1	1,0
400	113,6	115,6	3,0	115,2	1,6	0,4	113,9	114	1,3	1,2
500	110,2	113	2,8	112,6	2,4	1,0	113	111,6	0,4	1,0
630	115	116	1,0	116	1,0	0,0	116	115	0,0	1,0
800	115,8	116	0,2	115,6	0,2	0,4	115	114,6	0,6	1,0
1000	116,4	115,4	1,0	115,4	1,0	0,0	116,2	115	0,8	0,4
1250	114,0	114	0,0	114,4	0,4	0,4	115,2	112	0,8	2,4
1600	113,0	113,8	0,8	113,6	0,6	0,2	115,2	112,6	1,6	1,0
2000	110,0	110	0,0	109,6	0,4	0,4	110,6	109	1,0	0,6
2500	110,6	110	0,6	110,4	0,2	0,4	110,2	108,6	0,2	1,8
3150	106,6	106	0,6	106,4	0,2	0,4	105,8	104	0,6	2,4
4000	110,4	110,2	0,2	109,8	0,6	0,4	111	109	1,2	0,8
5000	110,6	110,8	0,2	110	0,6	0,8	110,8	109,2	0,8	0,8
6300	109,8	108,4	1,4	108,6	1,2	0,2	109,2	108,6	0,6	0,0
8000	107,4	107,4	0,0	107,6	0,2	0,2	107,8	107	0,2	0,6

Tabela 7 - Avaliação do campos acústico no ponto 2 nas posições - acima e abaixo.

FREQ [Hz]	ACIMA	ABAIXO	PONTO REF.	ACIMA-PR	ABAIXO-PR
125	108,8	107,6	110,8	2,0	3,2
160	108,2	108	107,8	0,4	0,2
200	103,4	114	111,8	8,4	2,2
250	114,2	115,0	115,8	1,6	0,8
315	114,2	117,2	116,6	2,4	0,8
400	114	117,8	116,2	2,2	1,6
500	112,6	109	112,6	0,0	3,6
630	110	109	116	6,0	7,0
800	115	114	115,6	0,6	1,6
1000	114	115	115,4	1,4	0,4
1250	113	113,6	114,4	1,4	0,8
1600	111,4	112,4	113,6	2,2	1,2
2000	108,8	109	109,6	0,8	0,6
2500	108,6	109,8	110,4	1,8	0,6
3150	104	105	106,4	2,4	1,4
4000	109,8	109,2	109,8	0,8	0,6
5000	109	109	110	1,0	1,0
6300	107,1	108	108,6	1,0	0,6
8000	107	107	107,6	0,6	1,6

Tabela 8 - Avaliação do campo acústico no ponto 3 nas posições: direita (D), esquerda (E), frente (F), costas (C) e ponto de referência (PR).

FREQ [Hz]	D	E	D-E	(PR)	D-PR	E-PR	F	C	F-R	C-PR
125	115	118,6	3,6	117	2,0	1,6	97	122	2,0	5,0
160	120	112,6	7,4	111	9,0	1,6	107,4	115	3,6	4,0
200	110	113	3	111	1	2	111,4	112	0,4	1,0
250	114,4	114	0,4	114,6	0,2	0,6	116	110,8	1,4	4,6
315	114,0	117,8	3,8	117,6	3,6	0,2	116,4	117,2	1,2	0,4
400	113	114,4	1,4	115,4	2,4	1,0	115,8	113	0,4	2,4
500	111,6	113,4	0,8	112,4	0,2	1	112,2	112	0,2	0,4
630	114,8	116,6	1,8	116	1,2	0,6	115,4	115,6	0,6	0,4
800	116,6	116,8	0,2	115,4	1	1,2	115,4	116	0,2	0,4
1000	116,6	115,6	1,0	116	0,6	0,4	115,4	116,8	0,6	0,8
1250	114	113,8	0,2	114,4	0,4	0,6	113,6	114	0,8	0,4
1600	113,8	114	0,2	113,8	0,0	0,2	113,4	113,6	0,4	0,2
2000	110,8	108,8	2,0	110,8	0,0	2,0	110,6	110,4	0,2	0,4
2500	111	110,6	0,4	111,2	0,2	0,6	110	110,6	1,2	0,6
3150	106,6	106	0,6	104,6	0,0	0,6	106,4	106	0,2	0,6
4000	110,2	110,8	0,6	111	0,8	0,2	110,4	110,4	0,6	0,6
5000	111,4	110,8	0,6	111,8	0,4	1,0	111	111	0,8	0,8
6300	110	110	0	109,8	0,2	0,2	109,6	109,4	0,2	0,4
8000	108,2	108,2	0	107,8	0,4	0,4	108,4	107	0,6	0,8

Tabela 9 - Avaliação do campo acústico no ponto 3 nas posições - acima e abaixo.

FREQ [Hz]	ACIMA	ABAIXO	PONTO REF.	ACIMA-PR	ABAIXO-PR
125	111,2	118,2	117	0,8	1,2
160	112	112	111	1,0	1,0
200	102	114,4	111	9,0	3,4
250	114	113,8	114,6	0,6	0,8
315	115,4	117,2	117,6	2,2	0,4
400	113,6	117	115,4	1,8	1,6
500	112	118	112,4	0,4	2,4
630	111	108	116	5,0	8,0
800	115,6	111,4	115,6	0,0	4,2
1000	114,6	114,4	116	1,4	1,6
1250	112	112	114,4	2,4	2,4
1600	113	112	113,8	0,8	1,8
2000	108,4	109,8	110,8	2,4	1,8
2500	109	108,4	111,2	2,2	2,4
3150	106,4	104,6	106,6	0,2	2,0
4000	110	110	111	1,0	1,0
5000	110	111	111,8	1,8	0,8
6300	109,2	107,8	109,8	0,8	2,0
8000	107	107	107,6	0,6	1,6

A tabela 5 apresenta os resultados das medições para o ponto 1, nas posições acima e abaixo. Como pode ser observado, com exceção das bandas de 200 e 630 Hz, todas as demais bandas de frequência encontram-se dentro da tolerância recomendada pela norma ISO.

As tabelas 6 e 7, mostram os resultados obtidos para o ponto 2.

Na tabela 6, bem como na tabela 4 nota-se que na faixa de 400 Hz até 8 KHz, as diferenças entre os níveis de pressão sonora nas posições direita, esquerda, frente e costas, com relação ao ponto de referência, estão dentro da tolerância de $\pm 2,5$ dB. Portanto, nesta faixa de frequências a norma é plenamente satisfeita. Na faixa de 125 Hz até 315 Hz, percebe-se uma instabilidade do campo acústico onde em algumas posições consegue-se satisfazer a norma e noutras não. Este fato já verificado anteriormente, foi observado nas medições realizadas no ponto 1.

A tabela 7, apresenta os resultados das medições para o ponto 2, nas posições acima e abaixo. Assim como aconteceu com o ponto 1, a banda crítica é a de 630 Hz. Na banda de 200 Hz, apenas a posição acima não satisfaz a norma. Para o ponto 2, as bandas de 125 Hz e 500 Hz, na posição abaixo, apresentam valores fora da tolerância exigida.

As tabelas 8 e 9, mostram os resultados obtidos para o ponto 3.

Como já observado nos pontos 1 e 2, o ponto 3 (tabela 8) também manteve-se dentro da tolerância estabelecida pela norma ISO, na faixa de 400 Hz até 8 KHz. Na faixa de 125 Hz até 315 Hz, como também já observado nos pontos 1 e 2, a instabilidade do campo sonoro é verificada, pois em algumas posições a norma é satisfeita, enquanto que outras não.

Para o ponto 3 (tabela 9), nas posições acima e abaixo, as bandas que não satisfazem a norma são a de 200 Hz e a de 630 Hz. A posição abaixo referente à banda de 800 Hz, também se encontra fora da tolerância.

Na avaliação do campo acústico aqui desenvolvida nota-se que este satisfaz plenamente a norma ISO na faixa de 400 Hz até 8 KHz, para todas as 6

posições, onde os níveis de pressão sonora foram medidos. Portanto, nesta faixa de frequência tem-se um campo sonoro qualificado.

2.3.2 Níveis de Pressão Sonora

Um dos requisitos físicos para a sala de testes dos ensaios de atenuação, com cabeça artificial, desejados pela norma ANSI S3.19 - 1974 é que os níveis de pressão sonora medidos em cada banda de frequência de teste, em 1/3 de oitava, não devem ser inferiores a 85 dB, tendo como referência $2 \cdot 10^{-5}$ N/m². Outra condição é que os níveis de pressão sonora devem estar pelo menos 60 dB acima dos níveis de ruído de fundo da sala de testes, em cada banda de frequência testada.

Para melhor elucidação temos:

$$\text{NPS} \geq 85 \text{ dB}$$

$$\text{NPS} - \text{RF} \geq 60 \text{ dB}$$

onde:

NPS = Nível de pressão sonora medido para cada banda de frequência em 1/3 de oitava, deste 125 Hz até 8 KHz.

RF = Ruído de fundo da sala de testes medido para cada banda de frequência em 1/3 de oitava, desde 125 Hz até 8 KHz.

Tabela 10 - Níveis de pressão sonora na câmara com 405 m³.

FREQ [Hz]	NPS [dB]	RF [dB]	NPS-RF [dB]
125	82,8	29,3	53,4
160	83,2	28	55,2
200	82,6	27	55,6
250	82,0	25	57
315	81,3	24,5	56,8
400	80	29,3	54,7
500	81,7	24,8	56,9
630	84,4	24,5	59,9
800	87,1	24,5	62,6
1000	88,2	24,5	63,7
1250	85,8	29,5	60,3
1600	85,5	25,5	60,0
2000	83,6	25,5	58,1
2500	82	27,3	54,7
3150	81	27,3	53,7
4000	79,3	27,8	51,5
5000	78	28,3	49,7
6300	77,5	29,3	48,2
8000	74	30,1	43,9

A norma ISO/DIS - 6290, como mostrado no item 2.1, requer níveis de pressão sonora diferenciados conforme a faixa de frequências testadas. Os valores exigidos pela norma ISO/DIS-6290 são os seguintes:

74 dB para 63 Hz até 250 Hz

90 dB para 315 Hz até 4000 Hz

85 dB para 5000 até 8000 Hz

Para a norma ISO, os níveis de pressão sonora devem estar pelo menos 10 dB acima do ruído de fundo. Neste caso, a diferença entre os níveis de pressão sonora e o ruído de fundo é obtida com o protetor posicionado na cabeça artificial.

Os testes realizados na câmara reverberante (volume $\approx 405 \text{ m}^3$) do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC, mostraram (ver tabela 10) que somente em quatro bandas de testes (*) as condições da norma ANSI S3.19, com relação ao ruído de fundo, foram satisfeitas.

Conforme as condições de campo difuso a relação entre a potência sonora, a pressão sonora, o volume da câmara reverberante e o tempo de reverberação é dada por:

$$P^2 = \frac{W \cdot \rho_o \cdot c^2 \cdot T}{13,9 \cdot V} \quad (2)$$

onde:

P^2 = é o valor médio quadrático (em tempo e espaço) do estado estacionário final da pressão acústica efetiva $[\text{N/m}^2]$.

W = potência acústica radiada $[\text{W}]$.

T = tempo de reverberação $[\text{s}]$.

ρ_o = densidade do ar $[\text{kg/m}^3]$.

c = velocidade do som no ar $[\text{m/s}]$.

V = volume da câmara $[\text{m}^3]$.

Com a equação acima fica claro que diminuindo-se o volume da câmara de testes conseguiremos que a pressão acústica aumente.

De posse das conclusões acima os ensaios subsequentes foram desenvolvidos em uma câmara com volume de aproximadamente 2 m^3 .

Pela observação da tabela 11 vemos que as condições exigidas pela norma são plenamente satisfeitas em todas as bandas testadas.

Tabela 11 - Níveis de pressão sonora na câmara com 2 m^3 .

FREQ [Hz]	NPS [dB]	RF [dB]	NPS-RF [dB]
125	97,0	34	63
160	107	20,5	86,5
200	98	22,5	76,5
315	97,5	24	72,5
400	97,5	24	72,5
500	102	28,5	73,5
630	103,5	28	73,5
800	103,5	25	75,5
1000	104,5	23	78,5
1250	101,5	20,5	81,5
1600	103	21,5	81
2000	99,5	13	81
2500	100	13,5	86,5
3150	98	9,0	86
4000	100	13	89
5000	101	13	87
6300	100	14	88
8000	98	17	86

2.3.3 Isolamento Acústico

O isolamento acústico é um dos pré-requisitos mais importantes e difíceis de serem satisfeitos, sendo exigido pela norma ANSI S3.19 - 1974 para ensaios de atenuação com protetores auditivos usando cabeça artificial.

O isolamento acústico é determinado através das diferenças entre os níveis de pressão sonora, medidos sem e com um copo metálico de vedação com parede espessa, conforme pode ser visto na figura 7. Esta diferença não deve ser inferior a 60 dB em cada banda de interesse, medidos em 1/3 de oitava desde 125 Hz até 8 KHz.

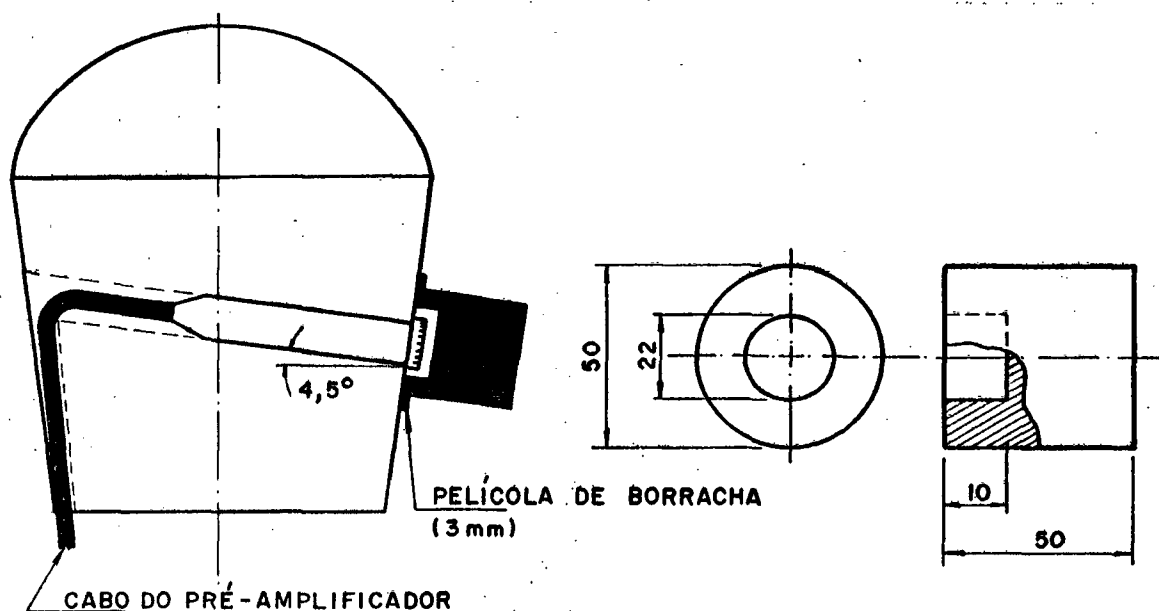


Figura 7 - Cabeça artificial com o copo metálico de vedação.

O objetivo do isolamento acústico é garantir a faixa dinâmica do sistema de medição, ou seja, o limite de 60 dB indica o valor máximo de atenuação que poderia ser fornecido por um protetor auditivo em particular.

A determinação do isolamento acústico exigiu a realização de extenso trabalho experimental, principalmente pelo fato de ser difícil

conseguir o isolamento de 60 dB, especialmente nas baixas frequências. Entre as tentativas realizadas, que serão posteriormente relatadas, cita-se como a mais importante a substituição no sistema de medição da cabeça artificial feita em madeira por uma feita em ferro fundido.

2.2.3.1 Medição do Isolamento Acústico

Os primeiros ensaios de isolamento foram realizados na câmara reverberante do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC. A cabeça artificial foi posicionada no centro de câmara, sobre um tripé metálico. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 12 a seguir.

Pode-se perceber que em nenhuma das bandas de frequência o isolamento desejado foi obtido. A título de exemplo, quando falarmos no Capítulo 3 sobre os ensaios de atenuação, perceberemos que os protetores fornecem atenuações superiores aos valores do isolamento apresentados na tabela anterior, especialmente nas altas frequências. Portanto conclui-se que os valores do isolamento deste primeiro ensaio estão desprovidos de qualquer possibilidade de aceitação.

Tabela 12 - Medição do isolamento acústico com a cabeça de madeira.

FREQ [Hz]	MICROFONE S/ VEDAÇÃO [dB]	MICROFONE C/VEDAÇÃO [dB]	ISOLAMENTO[dB]
125	82,8	67,75	15,05
160	83,2	66,25	16,95
200	82,6	64	18,6
250	81,9	61,2	20,7
315	81,3	59	22,3
400	79,95	55,75	24,2
500	81,7	53,7	28
630	84,4	52,9	31,5
800	87,1	53,2	33,9
1000	88,2	53,3	34,9
1250	85,8	51,6	34,2
1600	85,3	50,25	35,05
2000	83,6	46,5	37,1
2500	82	47,1	34,9
3150	80,9	52,7	28,2
4000	79,25	53,9	25,35
5000	78	47,8	30,2
6300	77,9	43,6	33,9
8000	74	40,7	33,3

Como o contato entre a superfície lateral da cabeça e o copo metálico não é regular, colocou-se entre ambos um pedaço de borracha mole de 3mm de espessura. No contato entre o copo e a borracha, e entre a borracha e a cabeça colocou-se uma camada de vaselina. Isto foi feito visando minimizar os vazamentos sonoros e buscar uma melhoria no isolamento. A tabela 13, mostra os

resultados obtidos onde percebemos uma melhora nas bandas de baixas frequências, mas no geral, os valores do isolamento continuaram aquém do pretendido.

Os ensaios posteriores foram desenvolvidos numa câmara com volume de aproximadamente 2 m^3 . A cabeça artificial é posicionada sobre uma superfície metálica, estando a 50 mm do piso da câmara. Outra modificação aqui introduzida foi a colocação na face lateral da cabeça artificial, por onde é introduzido o pré-amplificador de uma superfície composta por 6 mm de borracha e mais 3 mm de uma placa metálica.

A razão da substituição de parte da superfície de madeira pela composição borracha + metal é feita na tentativa de melhorar o selamento da superfície de entrada do pré-amplificador, diminuindo com isto os vazamentos sonoros.

Comparando os resultados obtidos com aqueles da tabela 13, constata-se a melhoria substancial no isolamento acústico, para todas as bandas de frequência medidas.

Tabela 13 - Medição do isolamento acústico com a cabeça de madeira.

FREQ [Hz]	NPS [dB]	NPS-COPO [dB]	ISOLAMENTO[dB]
125	83,7	63,7	20
160	83,5	62,4	21,1
200	82,5	60,5	22
250	83,3	57	26,2
319	82,4	55,1	27,3
400	81,3	52	29,3
500	83	51	32
630	85,3	52,1	33,2
800	88,5	54	34,5
1000	89,25	53	36,25
1250	87,75	48,1	39,65
1600	86,3	44	42,3
2000	85,6	41,5	44,1
2500	83,9	41,6	42,3
3150	82,3	46,6	35,7
4000	81	45,5	35,5
5000	79,5	40,6	38,9
6300	77,7	38,3	39,45
8000	75,25	36	39,25

A tabela 14, mostra-nos os resultados obtidos:

Tabela 14 - Medição do isolamento acústico com a cabeça de madeira.

FREQ. [Hz]	NPS [dB]	NPS-COPO [dB]	ISOLAMENTO [dB]
125	101	70	31
160	105	64,5	40,5
200	103,2	61,9	41,3
250	105	61,5	43,5
315	103,8	58	45,8
400	102,2	54,2	48
500	101,4	52,7	48,7
630	100,5	51,5	49
800	101,3	50,8	50,5
1000	103,5	50,4	53,2
1250	102,3	46,3	56
1600	103	44,9	58,1
2000	100,5	43,7	56,8
2500	99,5	44,5	55
3150	100,5	44	56,5
4000	99,75	42,2	57,6
5000	98,75	41,2	57,6
6300	97,75	41,1	56,7
8000	96,25	41,3	55

No ensaio seguinte, a cabeça artificial foi colocada sobre um bloco de espuma de 200 mm. Isto assim foi feito na tentativa de isolar as possíveis vibrações do piso da câmara. A tabela 15, a seguir, mostra-nos os

resultados obtidos.

Novamente conseguiu-se um ganho de isolamento acústico, especialmente nas bandas de 125 Hz até 2000 Hz.

Tabela 15 - Medição do isolamento acústico com a cabeça de madeira.

FREQ [Hz]	NPS [dB]	NPS-COPO [dB]	ISOLAMENTO [dB]
125	101	63,6	37,4
106	105	58,5	46,5
200	103,3	55,1	48,1
250	105	51,8	53,2
315	103,8	49,5	54,05
400	102,2	47,5	54,7
500	101,4	43,9	57,5
630	100,5	42,8	57,7
800	101,3	42,9	58,4
1000	107,5	42,6	60,7
1250	102,3	40,6	61,7
1600	103	41,1	61,9
2000	100,5	40,1	60
2500	99,5	42,3	57,2
3150	100,5	44,2	56,3
4000	99,8	41,8	58
5000	98,8	40,5	58,3
6300	97,8	40,4	57,4
8000	96,3	41,3	55

Na figura 8 temos uma comparação entre os níveis de isolamento conseguidos em três ensaios diferentes.

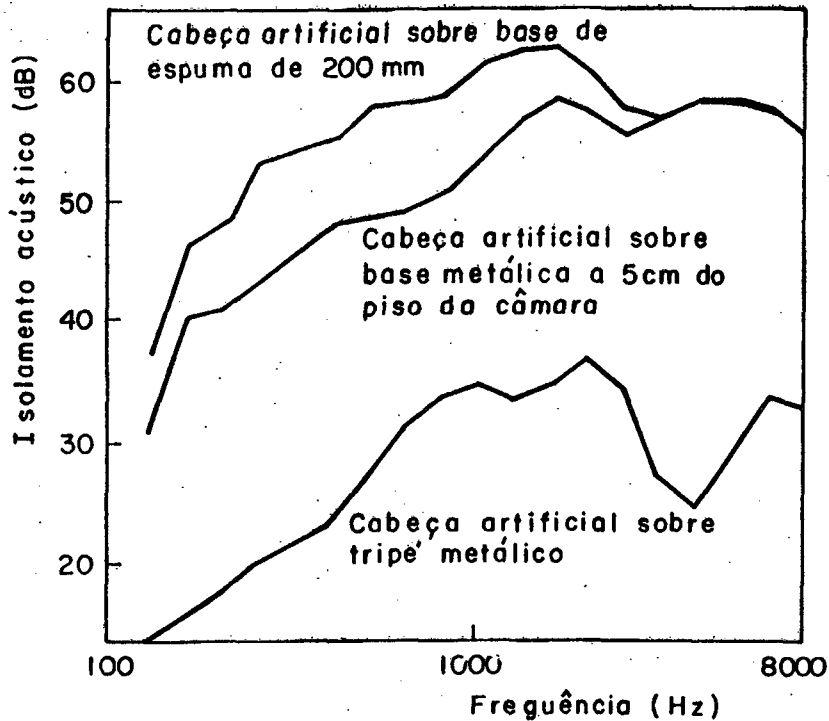


Figura 8 - Comparação entre ensaios de isolamento acústico.

Apesar das várias tentativas de se obter os 60 dB de isolamento acústico, em todas as bandas de frequência, estes só foram atingidos nas bandas de 1000, 1250, 1600 e 2000 Hz, conforme os dados apresentados na tabela 15.

Russel e May [11], que também trabalharam utilizando uma cabeça artificial de madeira, chegaram aos seguintes valores de isolamento: 30-40 dB para 40-500 Hz e 40-50 dB 500 até 20.000 Hz.

Comparando os resultados anteriores, com os obtidos por Russel e May, chega-se a conclusão de que com a cabeça artificial de madeira é muito difícil conseguir-se o isolamento acústico desejado.

Mudou-se então a cabeça artificial de madeira por uma usinada em ferro fundido, justificando-se a mudança pelo fato de que, quando desejamos isolar acusticamente um sistema devemos aumentar a massa desse sistema. A cabeça artificial de ferro fundido foi colocada sobre um tripé de madeira a

300 mm do piso da câmara.

Os resultados dos ensaios de isolamento acústico, com a cabeça de ferro fundido são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Medição do isolamento acústico com a cabeça de ferro fundido.

FREQ [Hz]	NPS [dB]	NPS-COPO [dB]	ISOLAMENTO [dB]
125	101	64,5	36,5
106	105	63	42
200	103,2	56	47,2
250	105	54,5	50,5
315	103,8	50,5	53,3
400	102,2	46	56,2
500	102	44	58
630	103,5	43,5	60
800	103,5	40,5	63
1000	104,5	39,5	65
1250	101,5	33,5	68
1600	103	33	70
2000	99,5	27,5	72
2500	100	29	71
3150	98	25	75
4000	100	25	75
5000	101	32	69
6300	100	32	68
8000	98	34	64

A figura 9, apresenta uma comparação entre os ensaios de atenuação desenvolvidos com a cabeça de madeira e o ensaio desenvolvido com a cabeça de ferro.

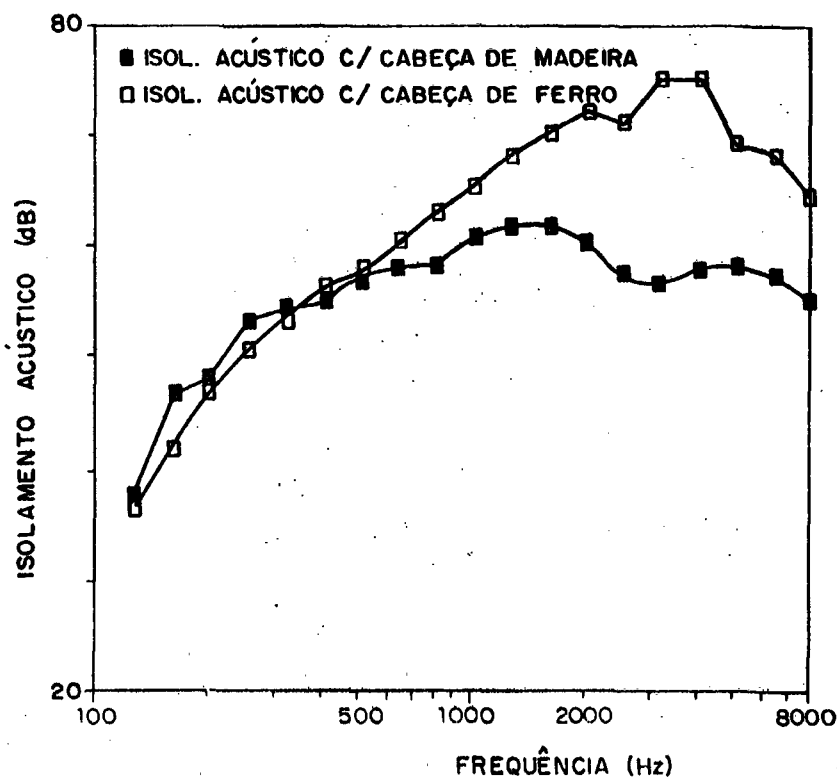


Figura 9 - Comparação entre ensaios de isolamento acústico.

Examinando a tabela anterior notamos que nas bandas acima de 500 Hz obteve-se o isolamento de no mínimo 60 dB. No entanto, este isolamento não foi conseguido nas baixas frequências (125-400 Hz), e em 500 Hz conseguiu-se 58 dB de isolamento, o que é um resultado excelente, posto que, é difícil conseguir o nível de isolamento desejado nesta banda de frequência.

Isto não compromete as medições de atenuação de ruído por que, como sabemos, à priori, os protetores auditivos não tem um bom desempenho em baixas frequências. Isto posto, pode-se então garantir a faixa dinâmica do sistema em todas as bandas de frequências testadas.

2.3.4 Pele Artificial

A norma ANSI S3.19 - 1974 recomenda que as superfícies laterais e parte do topo da cabeça artificial sejam recobertas com uma pele artificial que apresente dureza Shoore "00" de 20 ± 5 , com espessura de 6 mm.

Na tentativa de se obter este material, foram realizados alguns ensaios com silicone. Injetou-se silicone em pequenos moldes de madeira até que o mesmo adquirisse a forma de placa com uma espessura de 6 mm e tendo uma tolerância de ± 1 mm. Posteriormente, mediu-se a dureza destas placas (não sendo possível a medição de dureza Shoore "00" já que não dispunhamos de equipamento para isto). Foi possível, no entanto, medir-se a dureza Shoore "A" destas placas, e então, através de uma escala de conversão determinarmos a dureza Shoore "00".

Infelizmente, todas as tentativas fracassaram pois, ao converter a dureza Shoore "A" para Shoore "00" os valores obtidos eram superiores ao limite da norma.

Outra tentativa foi encontrar um material junto a fabricantes. Conseguiu-se então um material chamado "sorbotane", que apresenta, segundo seu fabricante, dureza Shoore "00" de aproximadamente 25. O sorbotane nos foi fornecido em placas de 400 x 400 mm e será usado em placas menores de 110 x 156 mm e 78 x 110 mm.

Recapitulando aqui as informações contidas no Capítulo 1, sobre testes de atenuação de ruído por protetores auditivos com cabeças artificiais, notamos que, a maioria dos pesquisadores chegou à conclusão de que a influência da pele artificial sobre os valores de atenuação é insignificante.

2.3.5 Sinal Elétrico da Fonte Sonora

Segundo a norma ANSI S3.19 - 1974, a variação do espectro do sinal elétrico da fonte sonora não deve variar de ± 2 dB, em bandas de 1 Hz de largura, dentro de uma faixa de 50 Hz até 12500 Hz.

A figura 10 mostra o espectro do sinal elétrico da fonte sonora BK tipo 4205, que satisfaz plenamente a exigência da norma.

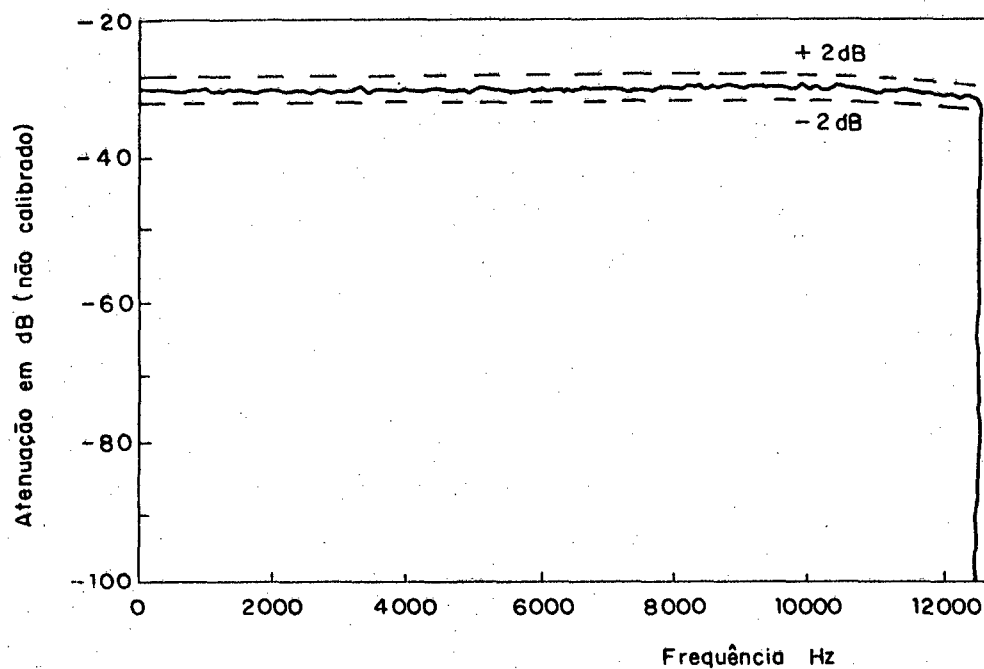


Figura 10 - Sinal elétrico da fonte.

CAPÍTULO 3

MEDIÇÕES DE ATENUAÇÃO E FORÇA DE CONTATO DA HASTE DO PROTETOR

Este Capítulo contém o resultado do trabalho experimental referente as medições da atenuação fornecida pelo uso dos protetores auditivos e as medições da força de contato.

3.1 MEDIÇÃO DA FORÇA

A norma ANSI S3.19 - 1974 sugere que, para a medição das forças de contato, as conchas dos protetores auditivos devem estar separadas por uma distância de 14,35 cm, que corresponde à largura média de uma cabeça humana.

O tamanho da cabeça tem influência sobre o valor da força de contato, pois quanto maior o tamanho da cabeça, mais elevado será a magnitude desta.

O sistema de medição da força conforme descrito no Capítulo 2, possibilita que a largura da cabeça tenha uma variação dentro da faixa de 14,15 cm até 14,55 cm.

Para a largura da cabeça, em medições de campo (minas canadenses), Savich e Weglo [17], encontraram um valor máximo de 14,14 cm e um valor mínimo de 13,64 cm.

Isto posto, percebemos então que, quando os protetores (cujas as forças de contato são determinadas segundo as especificações da norma) forem utilizados por indivíduos que tenham as dimensões de sua cabeça fora da faixa descrita pela norma, a força exercida sobre ele poderá ser maior ou menor do que aquela medida experimentalmente.

Diante desta afirmação, chegamos a uma conclusão de extrema importância. A escolha e o uso de um protetor auditivo quando relacionados ao

usuário, devem estar baseados no conforto deste. Percebe-se então, que o conforto é um conceito subjetivo pois, se o protetor auditivo possuir uma força de contato determinada segundo a norma de por exemplo 10 N, este protetor será confortável ou desconfortável, dependendo do indivíduo que irá utilizá-lo.

Segundo Alberto Behar [18], não há indicação de que o conforto diminui com a força, ao contrário do que normalmente se espera. Behar obteve alguns dados em suas pesquisas que comprovam o exposto acima: enquanto 4 indivíduos submetidos a forças de 5,0 a 5,9 N sentiram-se extremamente confortáveis; 8 indivíduos submetidos a forças entre 8,0 e 8,9 N sentiram-se confortáveis; e 50% dos indivíduos pesquisados sentiram-se desconfortáveis com forças em torno de 5,9 N.

Savich e Weglo [17], no entanto, chegaram com suas medições à constatação de que a força de contato (assim como a atenuação) encontra-se numa relação inversa ao conforto, isto é, aumentando-se a força diminui-se o conforto.

Observando-se as conclusões a que chegaram Behar, Savich e Weglo, nota-se a dificuldade em se estabelecer um conceito único a respeito do assunto. Como as medições aqui realizadas não envolveram a utilização de pessoas, não nos é possível atestar sobre o conforto ou desconforto dos protetores auditivos para os quais foram medidas as forças de contato.

Portanto, conclui-se que mesmo sendo o conforto um fator importante para a utilização do protetor, já que o usuário tende a considerar o melhor protetor aquele que lhe dá maior conforto e relegando a um segundo plano a proteção auditiva, este conforto não deve ser valorizado que em detrimento do objetivo primeiro dos protetores auditivos que é a proteção da audição.

A seguir serão apresentados nas tabelas 17, 18 e 19, os resultados experimentais das medições da força de contato. Estas forças foram medidas para um conjunto de 30 protetores auditivos, fornecidos por três

fabricantes, que serão designados de "X", "Y" e "Z".

Tabela 17 - Medição da força de contato para o protetor tipo "X".

Prot.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Força	13,9	15,1	12,5	15,1	14,6	11,3	12	15,6	5,9	13,4

$$\bar{F} = 13,8 \text{ N}$$

$$\text{Desvio Padrão } \sigma = 1,5$$

Tabela 18 - Medição da força de contato para o protetor tipo "Y".

Prot.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Força	15,6	15,1	11,3	14,3	12,5	15,1	13,4	14,9	15,2	14

$$\bar{F} = 14,2 \text{ N}$$

$$\text{Desvio Padrão } \sigma = 1,4$$

Tabela 19 - Medição da força de contato para o protetor tipo "Z".

Prot.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Força	4,1	4,3	7,3	2,7	7,8	4,7	4,2	3,7	3,9	6,1

$$\bar{F} = 4,9 \text{ N}$$

$$\text{Desvio Padrão } \sigma = 1,6$$

A observação dos resultados experimentais nos mostra claramente que o protetor Z apresenta as menores forças de acoplamento. Este é um problema sério, pois como sabemos, com o uso frequente dos protetores a força tende a diminuir e a diminuição desta força provoca um selamento precário entre as conchas e as superfícies laterais da cabeça. Isto tem como consequência final a diminuição da atenuação fornecida pelo protetor, pois se

o selamento acústico não é adequado, ocorre o vazamento aéreo, conforme já foi explanado no Capítulo 1.

As hastes dos protetores Y e Z apresentam o inconveniente de ao serem submetidas a uma força (deformação) no sentido contrário àquele que lhes é peculiar, elas não readquirem a força de contato original.

3.2 MEDIÇÃO DA ATENUAÇÃO

Um dos objetivos principais deste trabalho foi o desenvolvimento de dispositivos e a realização de ensaios de atenuação de ruído através do uso de protetores auditivos.

Os testes foram realizados seguindo os procedimentos contidos na norma ANSI S3.19 e na norma ISO/DIS 6290. Utilizou-se como espaço amostral um conjunto de 10 protetores para cada um dos modelos testados. Os modelos foram cedidos por três fabricantes, que aqui serão designados de "X", "Y" e "Z". Os testes descritos abaixo foram realizados no Laboratório de Vibrações e Acústica da Universidade Federal de Santa Catarina.

A figura 11 mostra a Cadeia de Medição utilizada.

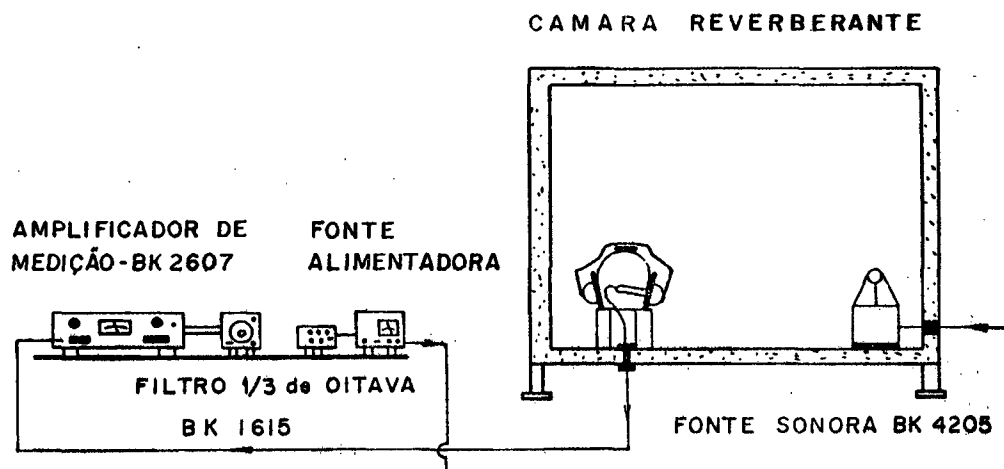


Figura 11 - Cadeia de medição.

Utilizou-se uma cabeça artificial construída segundo a norma ASNI S3.19-1974, conforme já descrito detalhadamente no Capítulo 2. Na cabeça artificial foi acoplado um microfone de pressão BK4166 de 1/2 polegada, sendo o conjunto colocado dentro da câmara reverberante descrita no Capítulo 2. Dentro da câmara é também colocada uma fonte sonora, sendo aqui utilizada a fonte BK 4205.

Os níveis de pressão sonora, do ruído gerado pela fonte e captado pelo microfone, são lidos em um amplificador de medições BK2607. A este amplificador, está conectado um filtro de 1/3 de oitava que faz a varredura passo a passo do espectro de frequências desde 125 Hz até 8 KHz.

A atenuação é então determinada através da diferença entre os níveis de pressão sonora obtidos com a cabeça artificial sem e com o uso do protetor auditivo.

As tabelas 20, 21 e 22 apresentam os resultados experimentais obtidos para os protetores "X", "Y" e "Z", respectivamente.

Tabela 20 - Atenuação e desvio padrão (σ), para o protetor "X".

Frequência [Hz]	Atenuação Média [dB] \bar{A}	Desvio Padrão σ	Isolamento Acústico [dB]
125	4,4	1,0	36,5
160	3,9	0,8	42,0
200	12,6	1,6	47,2
250	17,6	0,6	50,5
315	23,7	1,0	53,3
400	28,6	1,3	56,2
500	23,2	1,50	58,0
630	22,2	1,20	60,0
800	23,7	1,3	63,0
1000	28,0	1,2	65,0
1250	31,5	1,2	68,0
1600	40,3	0,8	70,0
2000	40,9	1,6	72,0
2500	43,1	2,2	71,0
3150	37,8	1,5	75,0
4000	38,1	1,4	75,0
5000	44,2	1,2	69,0
6300	42,2	0,8	68,0
8000	42,2	0,9	64,0

Tabela 21 - Atenuação e desvio padrão (σ), para o protetor "Y".

Frequência [Hz]	Atenuação Média [dB] \bar{A}	Desvio Padrão σ	Isolamento Acústico [dB]
125	0,60	2,70	36,5
160	4,50	3,10	42,0
200	12,3	4,20	47,2
250	19,0	3,1	50,5
315	22,40	4,0	53,3
400	26,7	3,6	56,2
500	28,8	1,3	58,0
630	28,3	3,3	60,0
800	28,8	2,8	63,0
1000	21,3	3,1	65,0
1250	32,4	2,4	68,0
1600	35,6	1,7	70,0
2000	35,4	1,6	72,0
2500	39,5	2,0	71,0
3150	37,8	1,6	75,0
4000	40,0	1,5	75,0
5000	41,0	1,8	69,0
6300	37,2	2,9	68,0
8000	27,3	4,0	64,0

Tabela 22 - Atenuação e desvio padrão (σ), para o protetor "Z".

Frequência [Hz]	Atenuação Média [dB] A	Desvio Padrão σ	Isolamento Acústico [dB]
125	-2,2	1,8	36,5
160	-2,1	1,1	42,0
200	5,8	1,4	47,2
250	13,7	0,9	50,5
315	17,7	0,8	53,3
400	24,2	0,8	56,2
500	23,6	1,1	58,0
630	24,0	1,1	60,0
800	24,3	1,8	63,0
1000	24,1	1,0	65,0
1250	24,0	0,9	68,0
1600	27,2	1,1	70,0
2000	28,4	1,8	72,0
2500	36,1	2,7	71,0
3150	38,2	2,7	75,0
4000	42,4	2,4	75,0
5000	46,4	1,3	69,0
6300	43,3	1,6	68,0
8000	42,2	1,4	64,0

A observação dos resultados experimentais contidos nas tabelas 20, 21 e 22, mostra que o máximo valor da atenuação conseguido nestes testes foi de 46,4 dB em altas frequências e o mínimo de -2,2 dB em baixas frequências. Na região de 125 Hz até 400 Hz, onde o isolamento acústico ficou entre 32,5 Hz e 51,5 Hz, ou seja, não chegando ao mínimo desejado de 60 dB, as atenuações estiveram entre -2,2 dB e 28,6 dB. Portanto, isto garante a validade dos resultados experimentais pois mantém a faixa dinâmica do sistema. Os valores de isolamento acústico nestas bandas (125 Hz até 400 Hz) estão bem acima dos valores de atenuação obtidos para as mesmas bandas de frequência (Ver Isolamento Acústico - Capítulo 2).

Para melhor avaliar o desempenho dos protetores, faz-se

necessária a análise dos mesmos nas regiões de baixa, média e alta frequência.

A faixa de valores de -2,2 dB até 4,5 dB, nas bandas de 125Hz até 160Hz, demonstra o baixo desempenho dos protetores nesta região. Este baixo desempenho nesta faixa de frequências já era esperado, visto que o isolamento acústico em baixas frequências é difícil, porque exige grande espessura e/ou densidade dos materiais utilizados. O uso do protetor auditivo, nada mais é que uma maneira de se isolar o ouvido da condução aérea do som. No tópico sobre o Isolamento Acústico no Capítulo 2, observou-se que em baixas frequências conseguiram-se valores muito bons de isolamento acústico que nada mais são do que valores de atenuação de ruído. No entanto, foi usado naquela ocasião como protetor auditivo um copo metálico de parede espessa, e então, conseguiu-se 32,5 dB de atenuação em 125 Hz, por exemplo.

A ocorrência de valores negativos de atenuação como os registrados pelo protetor Z são devidos ao fato de estarmos obtendo uma amplificação do ruído ao invés da atenuação do mesmo.

Na banda de 200 Hz o protetor Z apresenta um resultado de atenuação bem abaixo ao dos protetores X e Y, no entanto o desvio padrão para o protetor Z está próximo ao desvio padrão para o protetor X, enquanto que o desvio padrão para o protetor Y está muito acima ao dos protetores X e Z.

Nas bandas de 250 Hz os protetores já apresentam bons resultados de atenuação. Os valores de atenuação variam de 13,7dB até 28,8 dB. Levando-se em conta, somente os valores de atenuação, os três protetores equiparam-se. No entanto, quando considera-se o desvio padrão, nota-se que os protetores X e Z apresentam os seus desvios padrão na faixa de $0,6 \leq \sigma \leq 1,5$ enquanto que o protetor Y apresenta o seu desvio padrão na faixa de $3,3 \leq \sigma \leq 4,4$. Este fato, mostra a importância de ao comparar-se valores de atenuação para protetores distintos, levar-se em conta também os desvios padrão correspondentes.

Nas médias e altas frequências os protetores alcançam um desempenho muito bom. As atenuações variam de 22,2dB até 46,4dB. As comparações, entre os três modelos de protetores testados mostram que o

protetor Y apesar de apresentar valores de atenuação comparáveis aos demais ou mesmo superiores em algumas bandas têm o agravante de apresentar os desvios padrão muito grandes, o que demonstra o baixo nível do controle de qualidade do mesmo.

O protetor X, mostrou-se com o melhor desempenho pois apresentou os maiores valores de atenuação na grande maioria das bandas testadas e também apresentou os menores desvios padrão. Em algumas bandas, como por exemplo em 500 Hz o protetor X forneceu em média 23,2 dB de atenuação com um $\sigma = 1,5$, enquanto o protetor Y forneceu em média 28,8 dB de atenuação com um $\sigma = 3,6$. Isto mostra que, em média nesta banda o protetor Y é melhor que o protetor X, no entanto o protetor X apresenta uma qualidade muito maior devido o seu baixo desvio padrão se comparado ao do protetor Y.

A atenção com relação a qualidade do protetor é importante pois como foi descrito no Capítulo 1, existem vários fatores que na prática fazem com que o desempenho do protetor venha a diminuir. Um desses fatores é a alteração pelo usuário da força de contato exercida pelas conchas contra as faces laterais da cabeça. A alteração desta força torna o selamento entre a concha e a superfície lateral da cabeça deficiente, o que favorece o vazamento aéreo.

O protetor Y, além de apresentar os valores da força de contato bem abaixo dos demais, mostrou que qualquer deformação sofrida pela haste é irreversível, ou seja, ela não readquire a força original. Levando-se em conta que os protetores testados nunca foram usados no ambiente real de trabalho, portanto não sujeitos ao manuseio e tempo de uso, vemos que este fator reverte contra o desempenho do protetor Y. O protetor X, ao sofrer pequenas deformações da haste manteve a força original.

Para a escolha de um protetor, uma maneira rápida e eficiente é a comparação entre os números únicos de redução de ruído NRR. Um exemplo para o cálculo do NRR é apresentado no Apêndice I.

Seguindo o mesmo procedimento do Apêndice I, são encontrados

para os protetores testados os seguintes valores do NRR:

Protetor	NRR (dB)
X	21
Y	15
Z	15

3.3 REDUÇÃO DE RUÍDO (NOISE REDUCTION - NR) MEDIDO COM ANALIZADOR DIGITAL - FFT

Para medirmos a redução de ruído utilizamos a mesma montagem descrita no Capítulo 3 - item 3.2. À montagem original é acrescido um microfone que ficará instalado dentro da câmara de testes. Os sinais deste microfone e do microfone instalado na cabeça artificial, são levados a uma fonte de alimentação para microfones (Microphone Power Suply - tipo BX 2807) e conectados ao Analisador de Fourier tipo 5451 C da Hpewlett Packard. Procurou-se inicialmente avaliar a repetibilidade da redução de ruído medido com Analizador de Fourier (FFT), como citado acima. Esta avaliação da repetibilidade foi realizada para alguns pontos em torno da cabeça artificial, a distância de 15 cm do microfone que se encontra dentro desta. Os resultados obtidos para três posições são mostrados na figura 12.

Observa-se que as variações não são tão significativas, a não ser em algumas frequências, onde esta variação chegou em média a 10 dB.

Estas variações mais expressivas ocorrem na região de baixas frequências. Justamente na região de baixas frequências onde o campo acústico da câmara de testes utilizada neste trabalho não se acha qualificado. A qualificação do campo acústico foi extensamente discutida no Capítulo 2, onde após as medições chegou-se a conclusão de que o mesmo está qualificado para as bandas de frequências acima de 400 Hz inclusive.

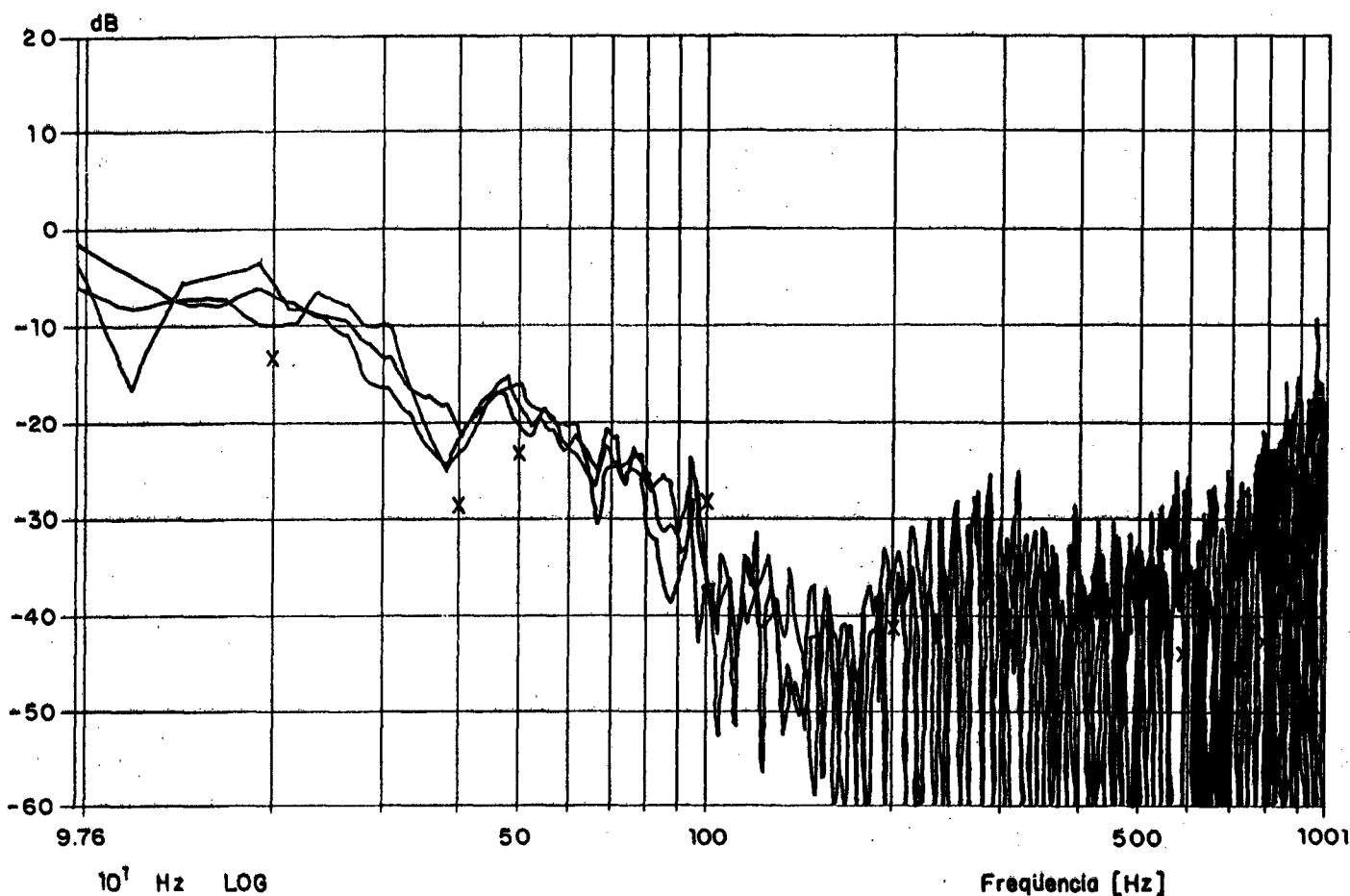


Figura 12 - Redução de ruído para 3 posições do campo acústico em torno da cabeça artificial.

Essa mesma figura mostra os resultados de medições de atenuação em bandas de 1/3 de oitava. Como esperado, os valores medidos em 1/3 de oitava não estão próximos aos medidos em banda estreita. Os valores em 1/3 de oitava estão assinalados na figura 12 com um "x".

Nas figuras 13, 14 e 15 a seguir são apresentados os sinais do microfone interno à cabeça artificial e do microfone externo, estando ambos inseridos no campo acústico da câmara de testes. Os espectros para o microfone externo foram medidos em três pontos distintos em torno da cabeça artificial, estando os mesmos a uma distância de 150 mm do centro do microfone interno.

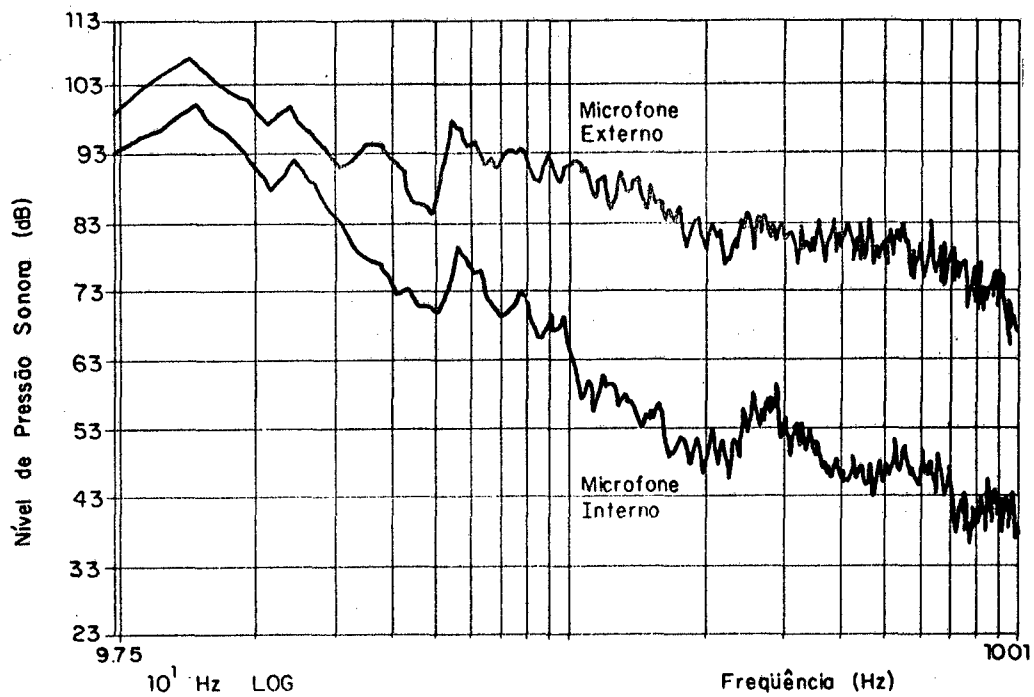


Figura 13 - Espectro do sinal do microfone interno e externo à cabeça artificial.

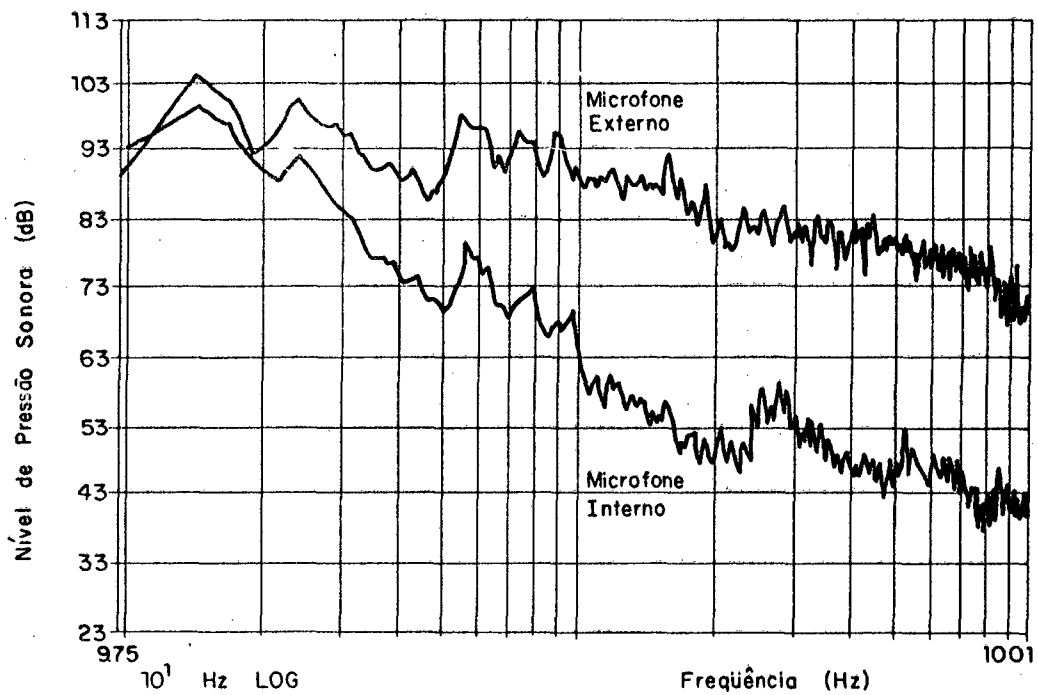


Figura 14 - Espectro do sinal do microfone interno e externo à cabeça artificial.

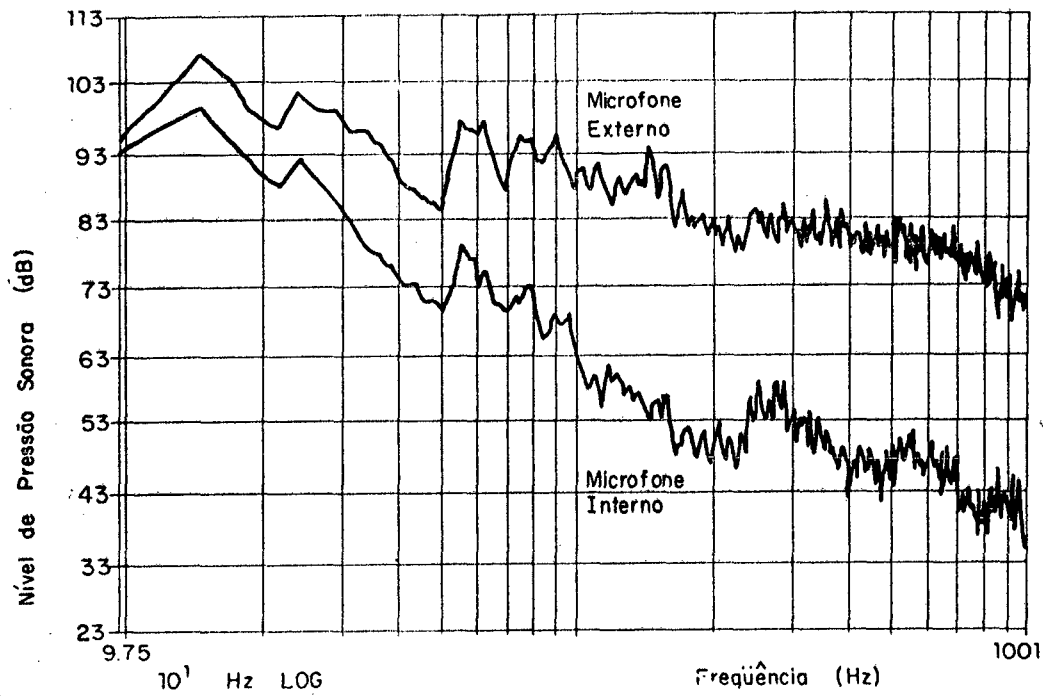


Figura 15 - Espectro do sinal do microfone interno e externo à cabeça artificial.

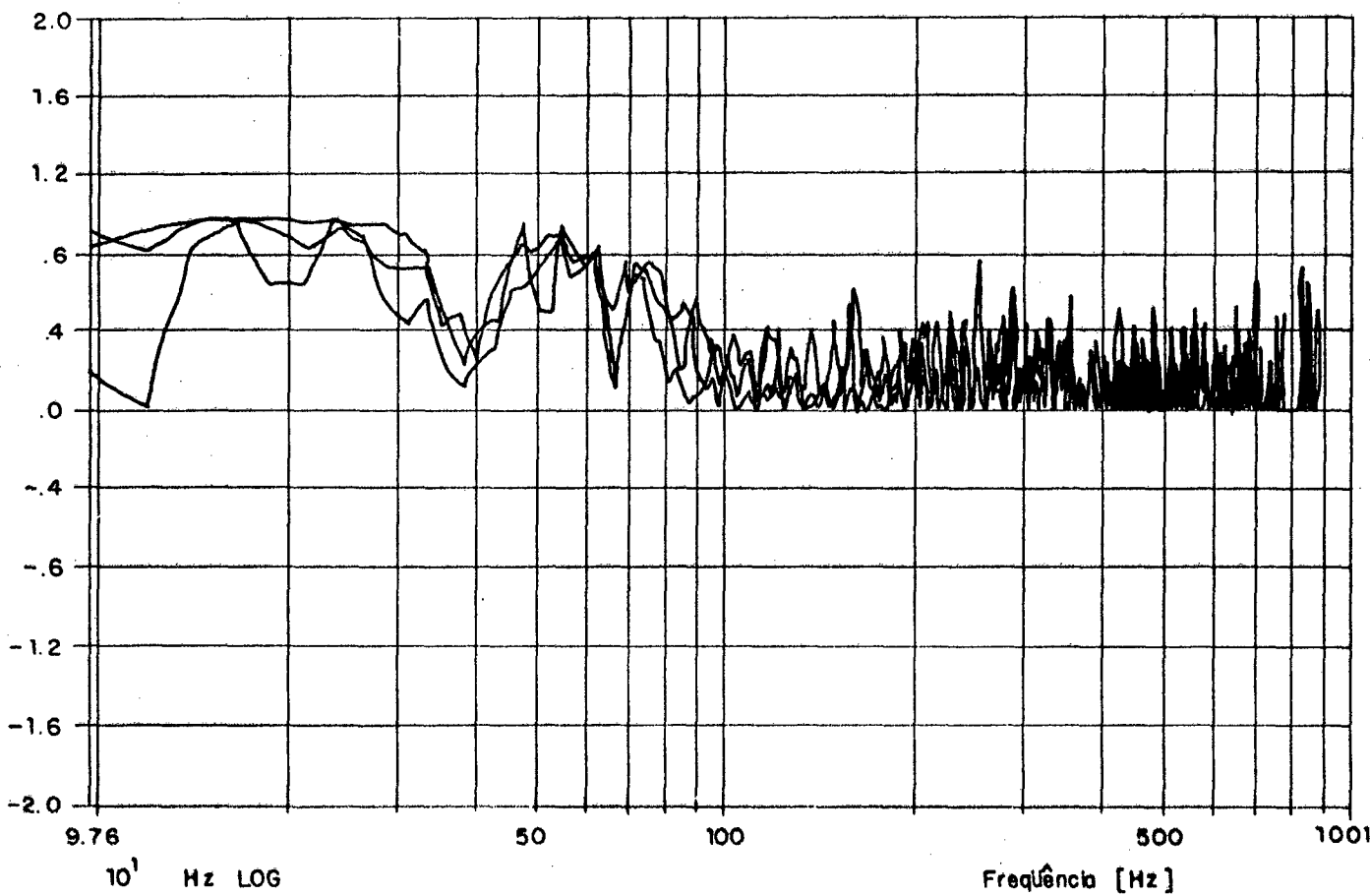


Figura 16 - Funções de coerência entre os microfones interno e externo à cabeça artificial.

A figura 16 mostra uma figura típica da função de coerência entre o sinal do microfone no campo sonoro e o sinal do microfone dentro da cabeça.

Nesta figura nota-se que a coerência é alta na região abaixo de 1000 Hz. Isto reforça os dados levantados analogicamente de que a redução do ruído pelo uso de protetores auditivos é deficiente em baixas frequências, isto é, nas baixas frequências a maior parte da energia sonora é transmitida para dentro da concha, razão pela qual a coerência é alta. Nas altas frequências a coerência cai devido ao fato da redução do ruído proporcionada pelo uso do protetor ser grande, ultrapassando 40 dB em algumas frequências. Nas medições analógicas desenvolvidas no item 3.2, tabelas 20, 21 e 22, são mostrados estes valores de atenuação.

CAPÍTULO 4

ESTUDOS DOS CAMINHOS DE VAZAMENTO SONORO

4.1 INTRODUÇÃO

Nos Capítulos precedentes foram apresentados as técnicas de medição da atenuação sonora fornecida pelos protetores auditivos, bem como os resultados experimentais destas medições.

Mostrou-se também que existem fatores que impedem a obtenção de um melhor desempenho dos protetores auditivos, sendo este avaliado por valores de atenuações. Relembrando os fatores que afetam o desempenho do protetor são:

- transmissão sonora através dos materiais da concha;
- transmissão sonora através do vazamento aéreo;
- vibração da concha do protetor;
- transmissão através da condução óssea;

Para o ouvido ocluído, ou seja, para o ouvido com o protetor auditivo, a transmissão óssea é o fator que mais limita a atenuação do protetor. Existem valores de atenuação máxima que podem ser conseguidos. Segundo Zwislocki [19] estes limites de atenuação são:

45 a 50 dB = 1500 a 2000 Hz

50 dB = 2000 a 6000 Hz

A partir destes valores, no entanto, a atenuação máxima é comandada pela condução óssea.

Apesar de ser um fator importante, a condução óssea não será aqui estudada. Para que isto fosse possível, seria necessário realizar-se ensaios com cabeças humanas reais em câmara anecóica e ou modelar a estrutura

do crânio. Os ensaios neste trabalho serão realizados conforme já descrito no Capítulo 2, utilizando-se uma cabeça artificial confeccionada em ferro fundido. Esta cabeça não incorpora a modelagem da estrutura do crânio. O objetivo deste Capítulo é quantificar os fatores citados anteriormente através das medições e análise dos sinais de ruído e vibrações.

4.2 TRANSMISSÃO SONORA ATRAVÉS DOS MATERIAIS COMPONENTES DA CONCHA

A atenuação de um protetor auditivo depende dos elementos que o compõe, tais como: concha, almofada, revestimento interno da concha, haste de fixação das conchas.

O objetivo aqui é mostrar as variações que ocorrem na atenuação do protetor quando um dos elementos acima é suprimido e ou modificado. A análise desenvolvida ficará limitada, no entanto, às seguintes medições:

- atenuação do protetor sem a almofada;
- atenuação do protetor sem a espuma de revestimento interno da concha;
- atenuação do protetor sem a almofada e sem a espuma.

Na análise do uso da almofada na atenuação do protetor serão executados os seguintes procedimentos:

- mede-se a atenuação para o protetor completo;
- mede-se a atenuação para o protetor sem a almofada.

A atenuação do protetor completo é medida conforme descrição feita no Capítulo 3.

Do protetor auditivo é retirada uma das almofadas, ou seja, aquela cuja a concha será posicionada no lado da cabeça artificial onde se encontra o microfone. A concha sem almofada será fixada na face lateral da cabeça artificial. A fixação consiste em colar a concha contra a pele

artificial. Esta é então posicionada na superfície lateral da cabeça.

O que se pretende é vedar a superfície de contato da concha com a pele artificial. Por esta superfície, supõe-se, existam vazamentos sonoros para o interior da mesma.

Outro item a ser analisado é a contribuição do revestimento interno da concha (espuma) nos valores medidos da atenuação.

4.3 TRANSMISSÃO SONORA ATRAVÉS DO VAZAMENTO AÉREO

A ocorrência do vazamento aéreo é devida ao não posicionamento adequado do protetor auditivo na cabeça do indivíduo. As conchas do protetor devem ser cuidadosamente ajustadas às áreas ao redor do ouvido externo.

Outro fator que leva ao vazamento aéreo é a diminuição na tensão do arco que une as duas conchas. Isto ocorrendo, a força de contato das conchas contra as faces laterais da cabeça diminui. Portanto, o contato entre as almofadas e a cabeça também diminui, criando assim um caminho para a entrada do som no ouvido através do ar, ou seja, o vazamento aéreo.

O objetivo aqui é tentar estudar o vazamento aéreo provocando um aumento da força de contato. Mede-se a atenuação para a nova situação e compara-se com os resultados obtidos para o protetor com tensão normal (tensão própria do protetor).

Outra maneira de avaliar o efeito do vazamento aéreo, é melhorar a vedação no contato entre as conchas do protetor e as superfícies laterais da cabeça artificial. Neste caso, ao contrário da situação descrita anteriormente, a força de contato entre as conchas e as faces laterais da cabeça não é alterada.

O protetor será posicionado na cabeça artificial, e então será utilizado um material selante (vaselina) e o seu efeito sobre a atenuação será medido e analisado.

4.4 ENSAIOS DE ATENUAÇÃO COM ALTERAÇÕES NAS CONDIÇÕES CARACTERÍSTICAS DE UM PROTETOR AUDITIVO

Os resultados experimentais que serão apresentados e discutidos a seguir tem o intuito de mostrar as possíveis variações que podem ocorrer na atenuação fornecida pelo protetor, quando algumas de suas características são modificadas ou quando um de seus elementos componentes é suprimido, conforme já explanado nos itens 4.2 e 4.3 deste Capítulo.

4.4.1 Vazamento Aéreo - Aumento da Força de Contato

Como exposto anteriormente a diminuição da força de contato da haste de ligação das conchas faz com que aumente a probabilidade da ocorrência de vazamento, porque isto diminui o contato entre as conchas e as superfícies laterais da cabeça.

A idéia, é então, fazer com que o contato entre as almofadas das conchas do protetor e as faces laterais da cabeça aumente. Para isso, deve-se aumentar a força de contato.

Este aumento na força não é quantificado, mas qualitativamente ele corresponde a deformação total das almofadas contra as faces da cabeça. Quando o protetor auditivo é usado normalmente a deformação das almofadas é pequena.

A figura 17 a seguir, apresenta três curvas.

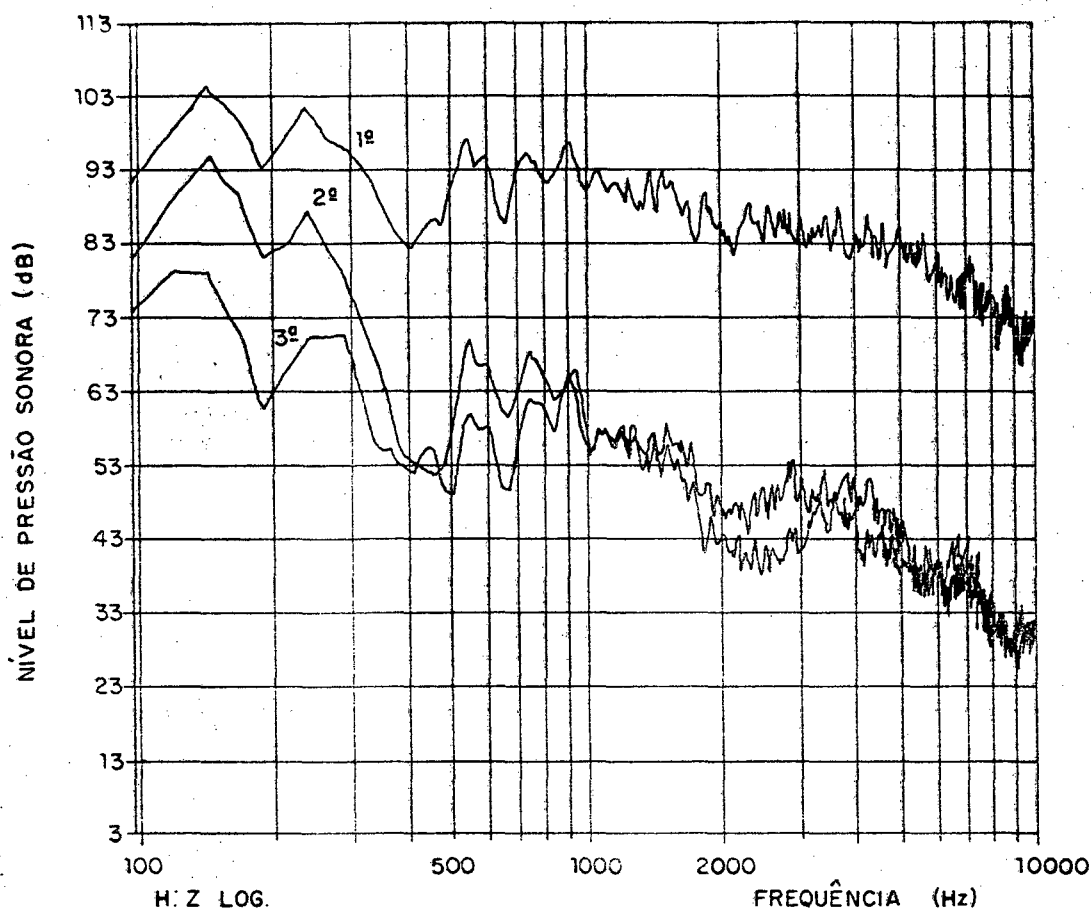


Figura 17 - Comparação entre atenuações obtidas com a variação na força de contato. 1ª curva: nível de pressão sonora medido sem o uso do protetor; 2ª curva: nível de pressão sonora medido com o uso do protetor; 3ª curva: nível de pressão sonora medido com o uso do protetor e com aumento da força.

A primeira curva mostra a medição do nível de pressão sonora dentro da câmara de testes, sem o uso do protetor. A segunda curva mostra o uso do protetor. A diferença entre elas nos dá a atenuação do ruído fornecida pelo protetor. A terceira curva, mostra o uso do protetor com as almofadas das conchas totalmente deformadas contra as faces laterais da cabeça artificial, ou seja, aumentou-se a força.

Na comparação entre a 2ª e a 3ª curva, nota-se que o aumento da força e o conseqüente bloqueio do caminho de vazamento aéreo fez com que

ocorresse um aumento na atenuação na faixa de frequências de 100 Hz até 800 Hz. O maior aumento é verificado em 200 Hz, onde a diferença entre a 2ª e a 3ª curva, chegou a 20 dB.

Isto posto, notamos então que um aumento máximo de força melhorou a atenuação em 20 dB. Em 1 KHz a diferença entre as duas curvas é praticamente nula. A partir de 1 KHz até 5 KHz o aumento da força não provocou aumento na atenuação. Em 6 KHz e 8 KHz, a diferença entre as curvas é também, praticamente nula. O aumento da atenuação, foi obtido através de um aumento excessivo da força de contato.

Um dos grandes problemas no uso de protetores auditivos é justamente o desconforto provocado pela força que a haste destes protetores exerce na cabeça do usuário.

Portanto conclui-se que o aumento da força em aplicações práticas não é recomendável.

Um estudo realizado por E.A.G. Shaw [20], 1979, nos dá conta de que um aumento limitado em atenuação, pode ser esperado, para um grande acréscimo na força de contato (ver figura 18).

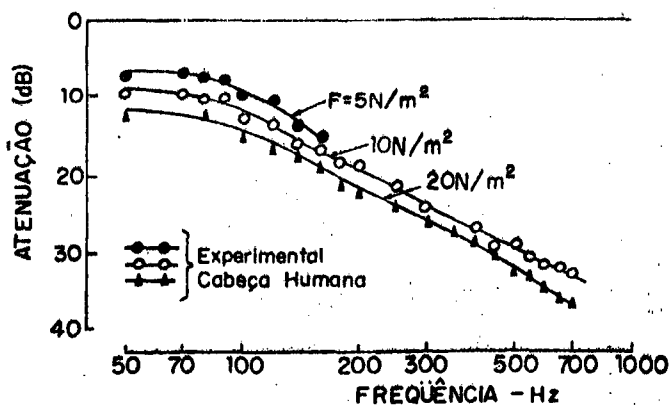


Figura 18 - Comparação entre atenuações obtidas com a variação na força de contato [22].

4.4.2 Vazamento Aéreo - Uso de material Selante

O material utilizado aqui, buscando melhorar o selamento entre as conchas do protetor e as faces laterais da cabeça artificial, será a vaselina.

O protetor é posicionado na cabeça artificial, e então com vaselina recobre-se a superfície externa de contato entre a almofada da concha e a cabeça artificial.

A curva A, da figura 19 representa o NPS medido com o uso do protetor e a curva B, na mesma figura, representa o NPS medido com o protetor e a vedação de vaselina. O material selante é aqui colocado no contato externo entre a almofada da concha e a fase lateral da cabeça artificial. Percebe-se que existe uma melhoria de atenuação somente em torno de 150 Hz. Esta atenuação é da ordem de 5 dB. Posteriormente, a vaselina foi colocada na superfície interna de contato entre a cabeça artificial e a almofada do protetor.

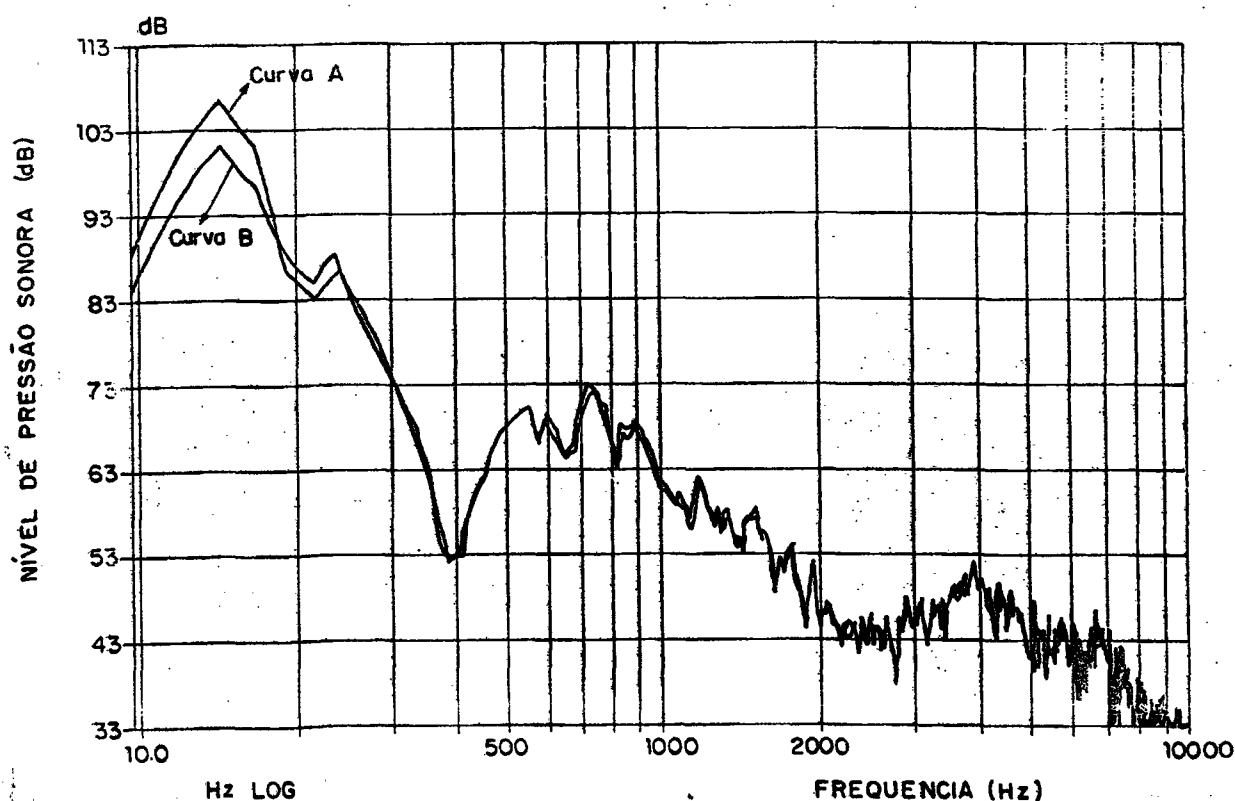


Figura 19 - Comparação entre valores de atenuação, utilizando material selante. Curva A: sem material selante. Curva B: com material selante.

Na figura 20, temos as curvas C e D, onde a curva C representa o NPS medido com o uso do protetor e a curva D representa o NPS medido com o uso do protetor e a vedação de vaselina na superfície de contato interno entre a almofada e a cabeça artificial. Observando a figura 20, chega-se a conclusão de que a melhora na atenuação foi inexpressiva.

Numa análise geral chega-se a conclusão de que o vazamento aéreo não influencia os valores de atenuação quando do uso de cabeças artificiais. Isto pode ser devido ao fato de existir um bom contato entre as conchas e as superfícies laterais da cabeça e também por este contato manter-se constante no tempo. Quando o protetor é usado por um indivíduo o contato com as superfícies laterais da cabeça não é "perfeito" devido as formas anatômicas humanas, e durante a jornada de trabalho os movimentos mandibulares tendem a romper o selamento existente.

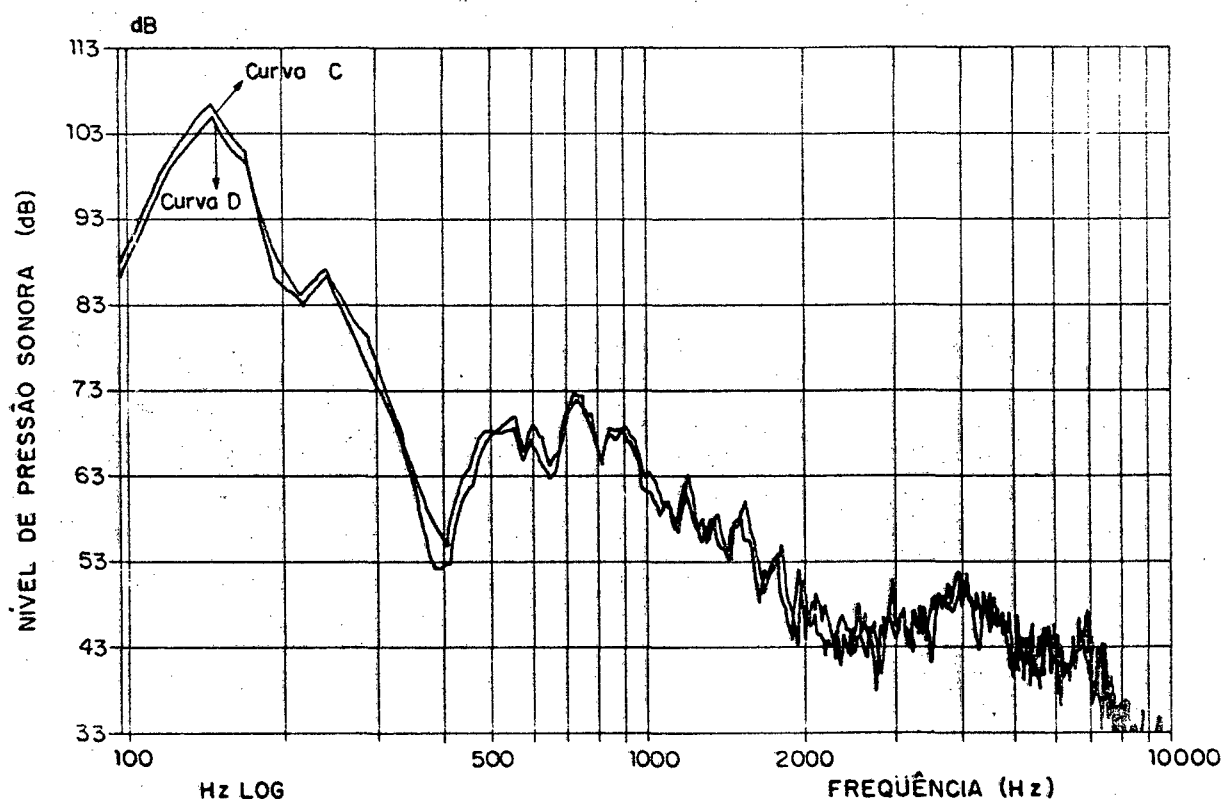


Figura 20 - Comparação entre valores de atenuação, utilizando material selante. Curva C: sem material selante. Curva D: com material selante.

4.4.3 Atenuação do Protetor sem Almofada

A análise que aqui será feita é para verificar se a atenuação fornecida pelo protetor sofre alguma variação quando a almofada da concha é retirada.

Primeiramente, mede-se a atenuação para o protetor completo, conforme já explicado nos Capítulos anteriores. Feito isto, retira-se uma das almofadas de uma das conchas. Esta concha é colada na pele artificial que recobre a face lateral da cabeça. A colagem é feita com o intuito de criar-se uma superfície rígida na região de contato concha-cabeça, a fim de diminuir o vazamento do som para dentro da concha.

Sendo a almofada um material leve, espera-se que através dela ocorra o vazamento sonoro e portanto a perda em atenuação.

Após a colocação da concha sobre a pele da cabeça artificial, monta-se o restante do protetor. Portanto, tem-se um protetor completo a menos de uma almofada em uma das conchas. Mede-se então a atenuação para este conjunto.

As figuras 21, 22 e 23, a seguir mostram os resultados das medições efetuadas para os três modelos de protetores auditivos; "X", "Y" e "Z" respectivamente.

Observa-se que na região das bandas de frequência de 125 Hz até 1600 Hz, a atenuação do protetor sem a almofada mostra-se superior aos valores obtidos com o protetor completo.

Isto ratifica a hipótese feita anteriormente de que pela almofada poderiam existir vazamentos sonoros. A variação entre as atenuações obtidas nas duas situações encontra-se na faixa de 4 a 10 dB.

Entre 2000 Hz e 2500 Hz as atenuações superpõem-se. Já entre 3150 Hz e 4000 Hz ocorrem variações máximas de até 4 dB, onde as atenuações do protetor sem almofada são maiores do que as do protetor completo. Entre 5000 Hz e 8000 Hz, as atenuações para as duas situações citadas anteriormente, praticamente superpõem-se. Isto quer dizer que entre 2000 Hz e 8000 Hz a

influência da ausência da almofada é pequena.

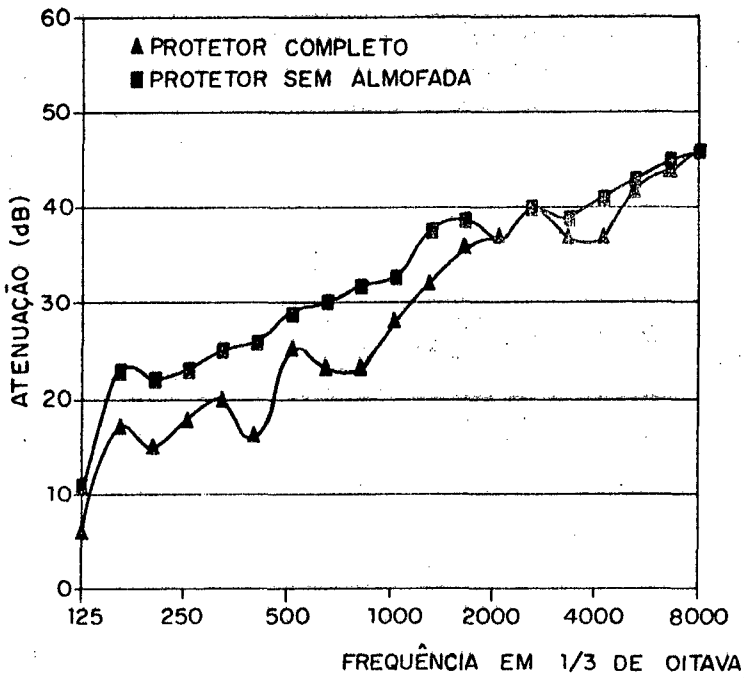


Figura 21 - Atenuação do protetor tipo "X" sem almofada.

A figura 22, mostra os resultados obtidos para o protetor tipo

"Y".

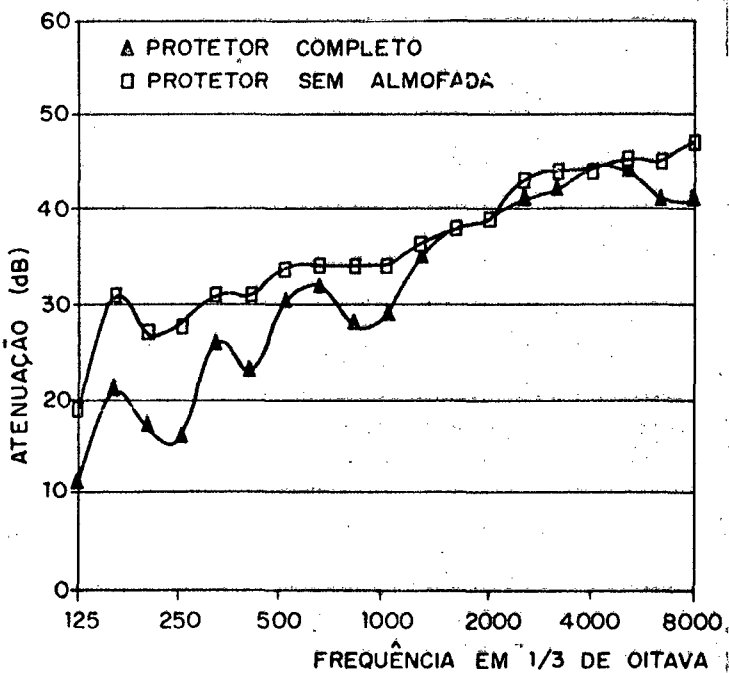


Figura 22 - Atenuação do protetor tipo "Y" sem almofada.

Para este modelo a atenuação do protetor sem almofada apresenta valores superiores ao protetor completo na faixa de frequências compreendido entre 125 Hz e 1200 Hz. A variação observada é da ordem de 2-12 dB. De 1250 Hz até 5000 Hz os valores para as duas situações estudadas são praticamente iguais. Eles apresentam um pequeno distanciamento entre 6300 Hz e 8000 Hz.

A figura 23, mostra os resultados obtidos para o protetor tipo "Z".

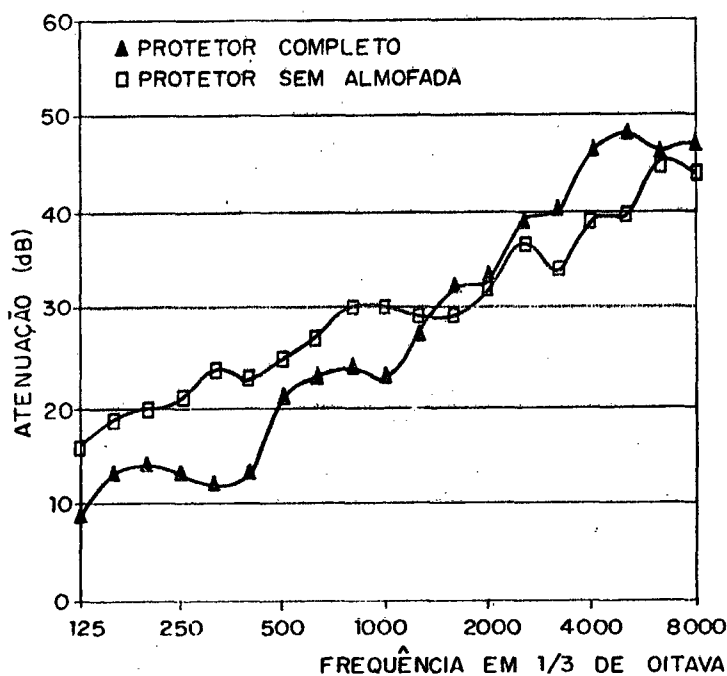


Figura 23 - Atenuação do protetor tipo "Z" sem almofada.

Para este modelo, o protetor sem a almofada apresenta desempenho melhor do que o protetor completo, na faixa de frequências de 125 Hz até 1250 Hz. A variação nos valores da atenuação observados nesta faixa de frequências é de 2 a 12 dB.

Na faixa de frequências de 1600 Hz até 8000 Hz observa-se um fato novo na comparação com os demais modelos. É que neste caso, o protetor sem almofada apresenta valores de atenuação inferiores aos do protetor completo. Com os dois modelos anteriormente estudados, o protetor sem almofada

apresentava valores de atenuação sempre maiores do que o protetor completo. Esta variação encontra-se na faixa de 2 a 8 dB, e pode ser causada pela absorção da almofada nas altas frequências.

As figuras 21, 22 e 23, mostram claramente que para a maioria das bandas de frequências testadas a atenuação fornecida pelo protetor sem a almofada é maior do que para o protetor completo. Isto ocorre principalmente entre 125 Hz e 1600 Hz para o protetor "X", 125 Hz e 1250 Hz para o protetor "Y" e 125 Hz e 1250 Hz para o protetor "Z". Para as frequências acima destas, ocorre uma aproximação dos valores de atenuação, ou seja, as atenuações para os protetores completos "X" e "Y" aproximam-se das atenuações para os protetores sem almofada "X" e "Y".

No conjunto concha e almofada, esta última é o material que apresenta menor rigidez e portanto menor impedância. Como consequência, a almofada torna-se um dos caminhos preferenciais para o som penetrar na concha especialmente nas baixas frequências, diminuindo assim a atenuação.

Nas altas frequências isto é minimizado, pelo fato dos comprimentos de onda serem da mesma ordem de grandeza das dimensões do protetor.

Portanto, pode-se concluir desta análise que a almofada é um elo fraco neste conjunto de atenuação, pois através dela ocorrem vazamentos sonoros. Como consequência a atenuação fornecida pelo protetor diminui.

Por outro lado, a almofada faz-se necessária pois é ela que dá o conforto ao indivíduo que se utiliza do protetor.

Portanto não é possível eliminá-la do conjunto.

4.4.4 Atenuação do Protetor sem o Revestimento Interno da Concha

Como é conhecido da teoria da acústica básica, quando as dimensões do espaço e de um múltiplo de $1/2$ comprimento da onda sonora são comparáveis um com o outro, ocorrerá um fenômeno muito conhecido em acústica que é a ressonância. Para evitar que isto ocorra é que se faz necessário o uso

de um material destinado a absorção acústica.

Em um protetor auditivo, o papel da absorção acústica para evitar as ressonâncias e consequentemente evitar-se a redução nos valores da atenuação fornecida pelo protetor é desempenhado pelo revestimento interno da concha, ou seja, a espuma.

O que aqui será feito é medir-se a atenuação para 3 modelos de protetores completos e depois refazer as mesmas medições retirando-se de uma das conchas a espuma de revestimento interno.

As figuras 24, 25 e 26, a seguir mostram os resultados obtidos para os protetores "X", "Y" e "Z" respectivamente.

Na figura 24 observa-se que as duas curvas de atenuação praticamente superpõem-se, na faixa de frequências compreendida entre 125 Hz e 2000 Hz. O que era uma situação esperada.

A partir de 2500 Hz inclusive, nota-se claramente a queda na atenuação do protetor sem espuma. A perda em atenuação encontra-se dentro de uma faixa de 9 a 14 dB. Valores muito significativos, e que atestam a importância do uso deste revestimento.

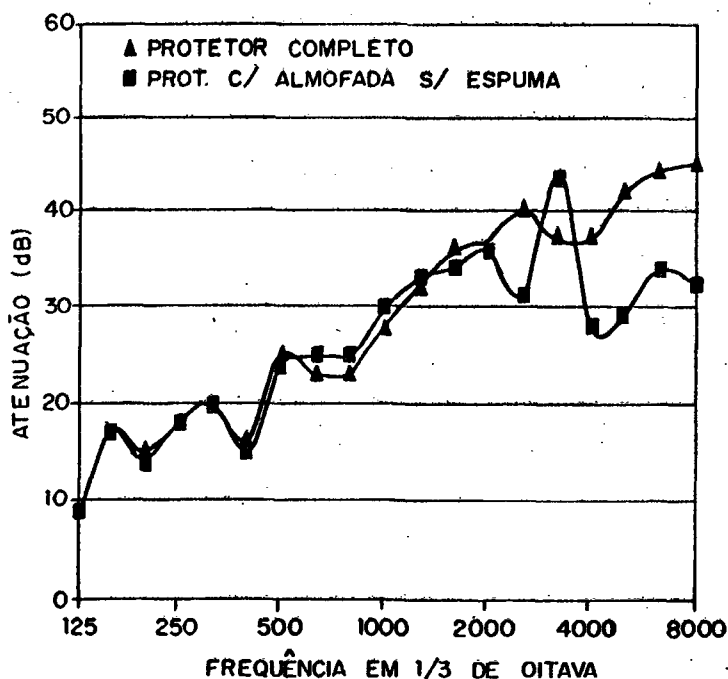


Figura 24 - Atenuação do protetor tipo "X" sem o revestimento interno da concha.

Na figura 25, protetor tipo "Y" nas bandas de frequência compreendidas entre 160 Hz e 2000 Hz, as curvas de atenuação praticamente superpõem-se.

Como aconteceu com o modelo anterior de 2500 Hz até 8000 Hz, observa-se a ocorrência das ressonâncias acústicas. A perda em atenuação neste caso está compreendido na faixa de 4 a 16 dB.

A figura 26, protetor "Z", como observado com os dois modelos anteriores, as curvas de atenuação também estão praticamente superpostas nas bandas entre 125 Hz e 2500 Hz. A perda em atenuação para este modelo de protetor auditivo é mais significativo, estando numa faixa compreendida entre 12 e 20 dB.

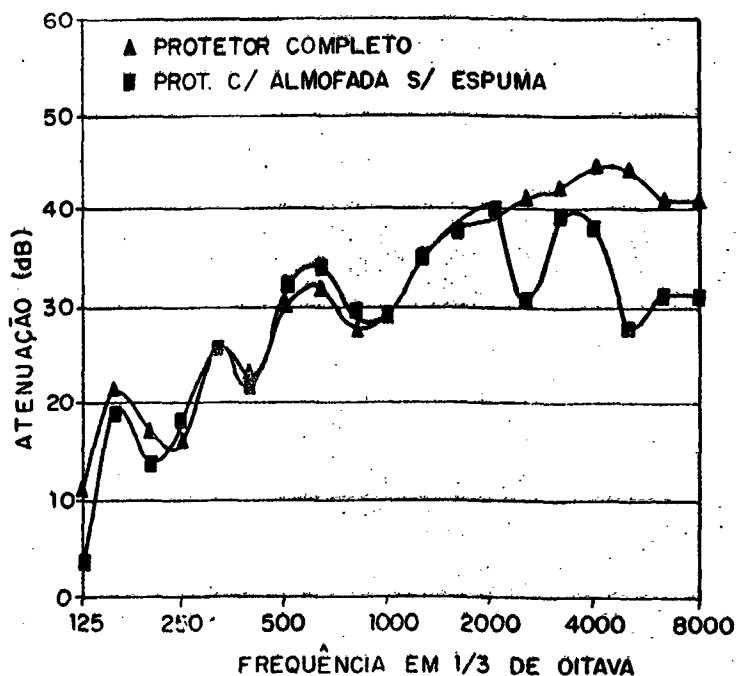


Figura 25 - Atenuação do protetor tipo "Y" sem o revestimento interno da concha.

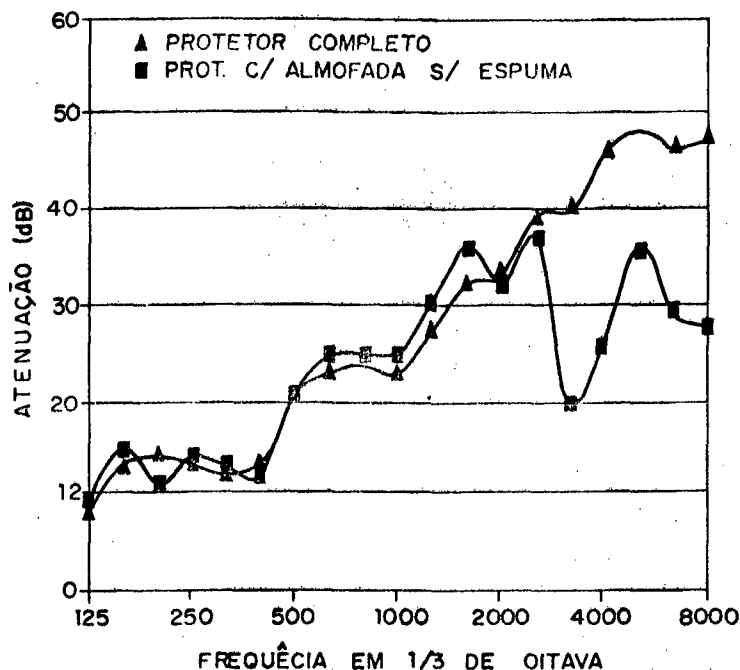


Figura 26 - Atenuação do protetor tipo "Z" sem o revestimento interno da concha.

Da observação das figuras 24, 25 e 26, nota-se que os protetores "X", "Y" e "Z" apresentam picos de ressonância em 2500 Hz, 4000 e 8000 Hz; 2500 Hz e 5000 Hz; 3150 Hz e 8000 Hz, respectivamente. Os mesmos protetores apresentam como dimensões médias os seguintes valores: protetor "X" (9,2 x 7,2 x 4,3 cm), protetor "Y" (9,2 x 6,2 x 3,3 cm) e protetor "Z" (10,0 x 8,2 x 3,4 cm).

Tomando-se os valores para 1/2 comprimento de onda sonora são encontrados os seguintes valores: 6,9 cm, 5,4 cm, 4,3 cm, 3,4 cm e 2,1 cm, respectivamente para 2500 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz e 8000 Hz.

Da comparação entre as dimensões médias dos protetores e dos 1/2 comprimentos da onda sonora ou seus múltiplos, consegue-se comprovar analiticamente os resultados experimentais obtidos. Por exemplo, o protetor tipo "Z" tem um pico de ressonância em 5000 Hz onde o valor para 1/2 comprimento da onda sonora é de 3,4 cm. Este comprimento de 3,4 cm para a onda

sonora é igual a dimensão da profundidade média da concha do referido protetor 3,4 cm. A mesma ordem de grandeza das duas dimensões caracteriza o fenômeno da ressonância acústica.

O protetor tipo "X" apresenta um pico de ressonância em 4000 Hz, onde $1/2$ comprimento da onda acústica tem o valor de 4,3 cm. A profundidade média do protetor tipo X tem o valor de 4,3 cm. Portanto, em mais um exemplo evidenciou-se a comprovação da ocorrência do fenômeno de ressonância acústica.

A partir das evidências analítico-experimentais, discutidas acima, chega-se a conclusão de que a espuma é um componente de grande importância para o desempenho de um protetor auditivo, quando este estiver sendo utilizado em ambientes onde dominem as altas frequências.

4.4.5 Atenuação do Protetor sem a Almofada e sem o Revestimento Interno da Concha.

A intenção neste item é observar o comportamento da atenuação do protetor, quando o único elemento que se apresenta para isto é a concha do mesmo.

Será utilizada a mesma montagem usada para avaliar-se o efeito da almofada na atenuação. A diferença reside no fato da espuma também ser retirada.

As figuras 24, 25 e 26 apresentam os resultados experimentais obtidos para os protetores tipo "X", "Y" e "Z" respectivamente.

A concha do protetor tipo "X", apresenta valores de atenuação maiores do que as do protetor completo na faixa de frequência entre 315 Hz e 1600 Hz. Nas frequências de 2500 Hz, 5000 Hz, 6300 Hz e 8000 Hz, observamos a queda abrupta da atenuação. Este fato constata a ocorrência de ressonâncias acústicas, conforme discutido no item antecedente.

A concha do protetor "Y", apresenta valores de atenuação que superam as do protetor completo nas bandas de frequência compreendidas entre 125 Hz a 500 Hz e 800 Hz a 1600 Hz.

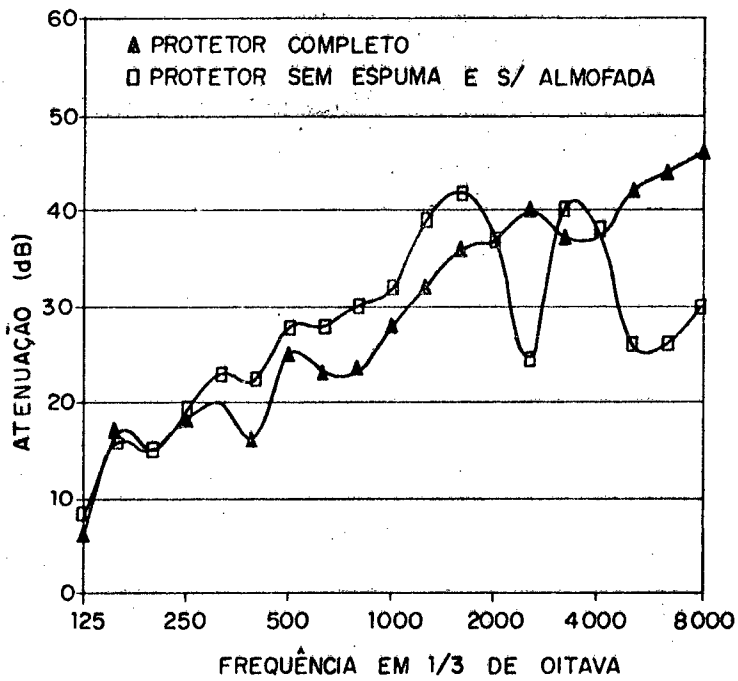


Figura 27 - Atenuação do protetor tipo "X" sem a espuma e sem a almofada.

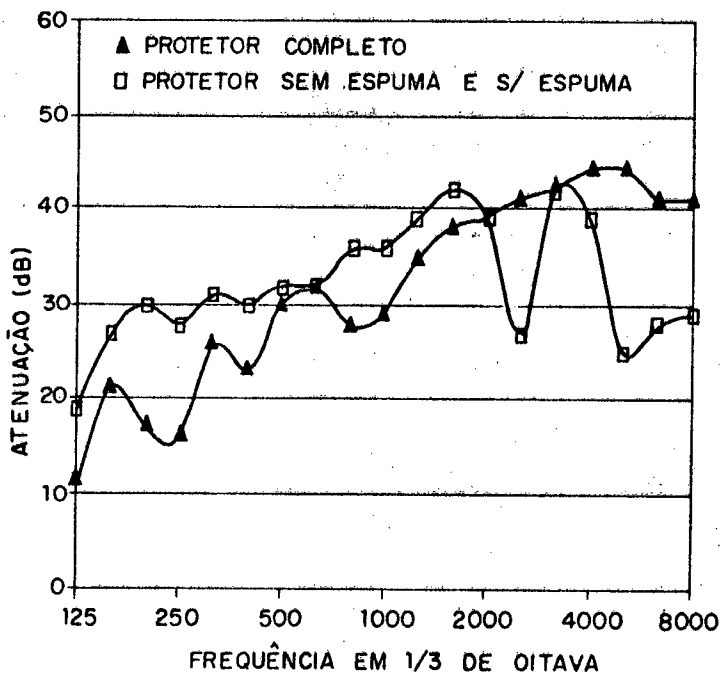


Figura 28 - Atenuação do protetor tipo "Y" sem a almofada e sem a espuma.

Nas bandas de 2500 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz, 6300 Hz e 8000 Hz as atenuações tem uma queda bem acentuada (exceção feita para 4000 Hz onde a queda está em torno de 5 dB). Este fato comprova mais uma vez a ocorrência das ressonâncias acústicas em altas frequências.

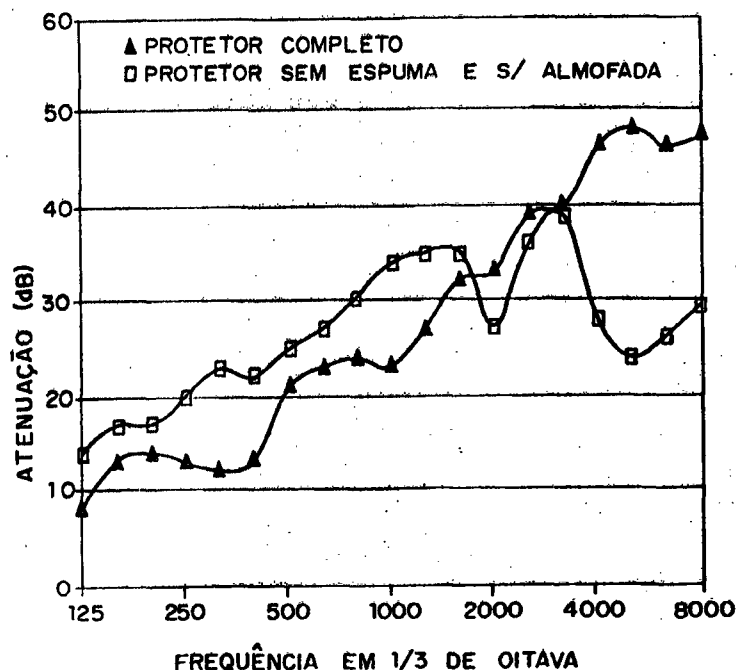


Figura 29 - Atenuação do protetor tipo "Z" sem almofada e sem a espuma.

Para a concha do protetor tipo "Z", entre 125 Hz e 1600 Hz, tem-se atenuações maiores do que as do protetor completo. Nas bandas de 4000 Hz até 8000 Hz, manifestam-se as ressonâncias acústicas e as atenuações tem quedas vertiginosas. Estas quedas, ou melhor, perdas de atenuação estão numa faixa entre 18 e 24 dB.

Da análise das figuras 27, 28 e 29, conclui-se que de 125 Hz até 1600 Hz os protetores sem almofadas apresentaram atenuações maiores que os protetores completos. Outra conclusão, é a constatação do fato de que a retirada da almofada e a retirada da espuma atuam de maneira independente sobre os valores da atenuação. Enquanto a primeira modificação exerce

alteração nos valores da atenuação em baixas frequências, a segunda exerce alteração nos valores da atenuação em altas frequências.

4.4.6 Atenuação do Protetor com Aumento na Massa da Concha

Buscando observar que efeito um aumento na massa da concha provocaria sobre os valores de atenuação, efetuou-se um aumento desta. A concha completa apresenta uma massa de 59 g, então numa primeira observação aumentou-se esta massa em 3 vezes (177 g) e posteriormente em 5 vezes (295 g). A concha utilizada para os testes pertence ao protetor tipo "X":

Na figura 30, são apresentadas três curvas as quais representam respectivamente o seguinte: Curva 1 - nível de pressão sonora sem o protetor - Curva 2 - nível de pressão sonora com o protetor auditivo; Curva 3 - nível de pressão sonora com o protetor mais o aumento de massa, onde a massa da concha passou de 59 g para 177 g, o que equivale a um aumento de 3 vezes.

Relembrando, a atenuação sonora que o uso do protetor auditivo fornece, é a diferença entre as curvas "1" e "2". Aumentando-se a massa, a atenuação será dada pela diferença entre as curvas "1" e "3". A diferença entre as curvas "2" e "3" nos fornece o ganho em atenuação conseguido com o aumento da massa da concha. Observando a figura 30 nota-se um máximo em atenuação na faixa de frequência entre 100 Hz e 300 Hz, da ordem de 17 dB. Entre 700 Hz e 800 Hz observa-se um outro ganho da ordem de 11 dB. Entre 1 KHz e 3 KHz as curvas praticamente coincidem, não observando-se nenhum ganho expressivo. De 3 KHz até 7 KHz observam-se ganhos máximos em atenuação da ordem de 10 a 15 dB. De 7 kHz até 10 KHz as curvas praticamente se superpõem.

Do que foi exposto, fica claro que o aumento da massa modifica os valores de atenuação, sendo que as maiores alterações ocorreram nas baixas frequências. Como exemplo citamos que entre 100 Hz e 300 Hz foram obtidos ganhos no máximo de até 17 dB. No Capítulo 3 observa-se que para o protetor tipo "X" entre 125 Hz e 315 Hz os valores de atenuação encontram-se entre 4 dB e 23 dB aproximadamente. Para outros modelos, entre 125 Hz e 315 Hz, foram

obtidos atenuações de 0,6 dB até 22 dB e -2,1 dB até 17,7 dB. Através destes dados nota-se claramente que nas baixas frequências o desempenho dos protetores auditivos é crítico. Portanto ganhos de no máximo 17 dB como registrados nas medições expostas na figura 30 são de grande importância.

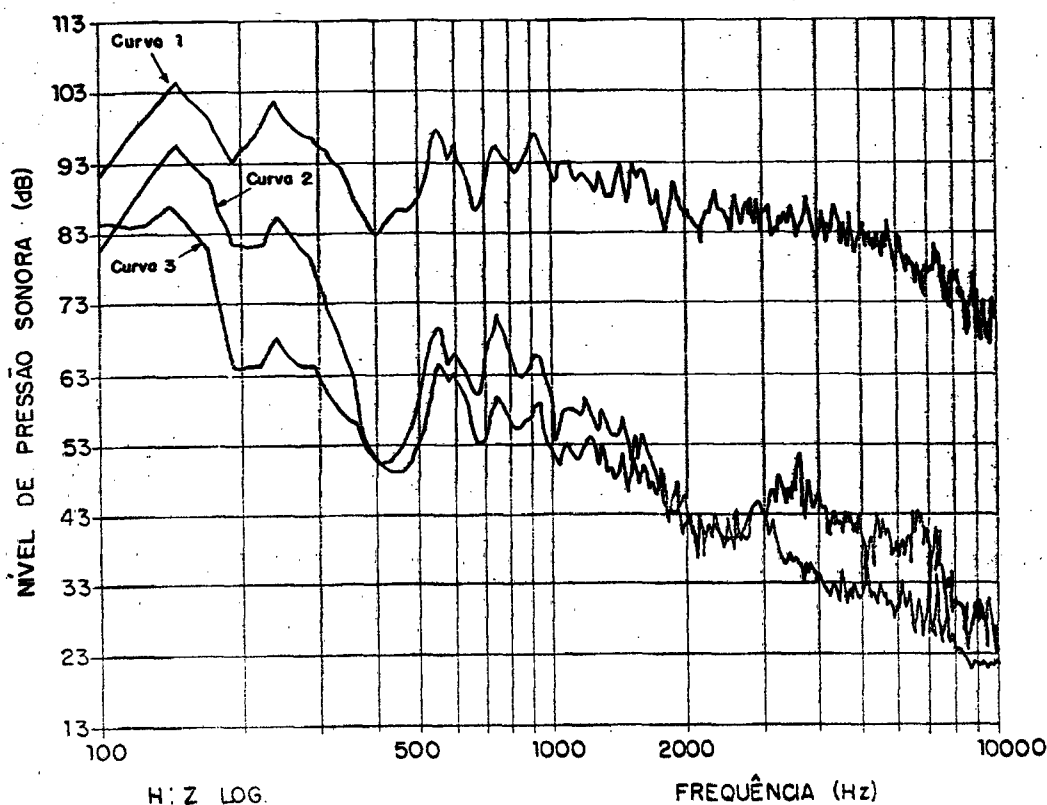


Figura 30 - Atenuação com o aumento da massa - aumento de 3 vezes.

Nas altas frequências (2000 Hz até 8000 Hz) os protetores apresentam valores de atenuação entre 37 e 44 dB (modelo tipo "X" - conforme Capítulo 3), os quais podem ser considerados como muito bons. Com o aumento da massa, entre 3 KHz e 7 KHz observaram-se ganhos entre 10 e 15 dB. O que só vem melhorar o desempenho dos protetores em altas frequências.

Nos ensaios apenas a massa de uma das conchas foi alterada. No entanto o protetor auditivo como um todo terá a sua massa aumentada quando

estiver sendo utilizado pelo usuário.

Um protetor completo do tipo "X" pesa 192 g, sendo que a haste pesa 74 g. Considerando-se o aumento da massa efetuado no experimento, ou seja, 3 vezes a massa original da concha, teríamos no final um protetor com 428 g.

Sabe-se através da literatura corrente que em análises subjetivas de atenuação de ruído através do uso de protetores auditivos, este é considerado pelos usuários como um elemento estranho, sendo elevado o grau de rejeição a sua utilização. Um dos principais fatores apontados é o desconforto, em especial a força que a haste de ligação das conchas exerce contra as faces laterais da cabeça do usuário. Sendo assim é de se esperar que com o aumento no peso total do dispositivo de proteção aumentará também a rejeição ao seu uso.

Finalizando a discussão sobre o efeito do aumento da massa da concha na atenuação do protetor auditivo, observamos a figura 31.

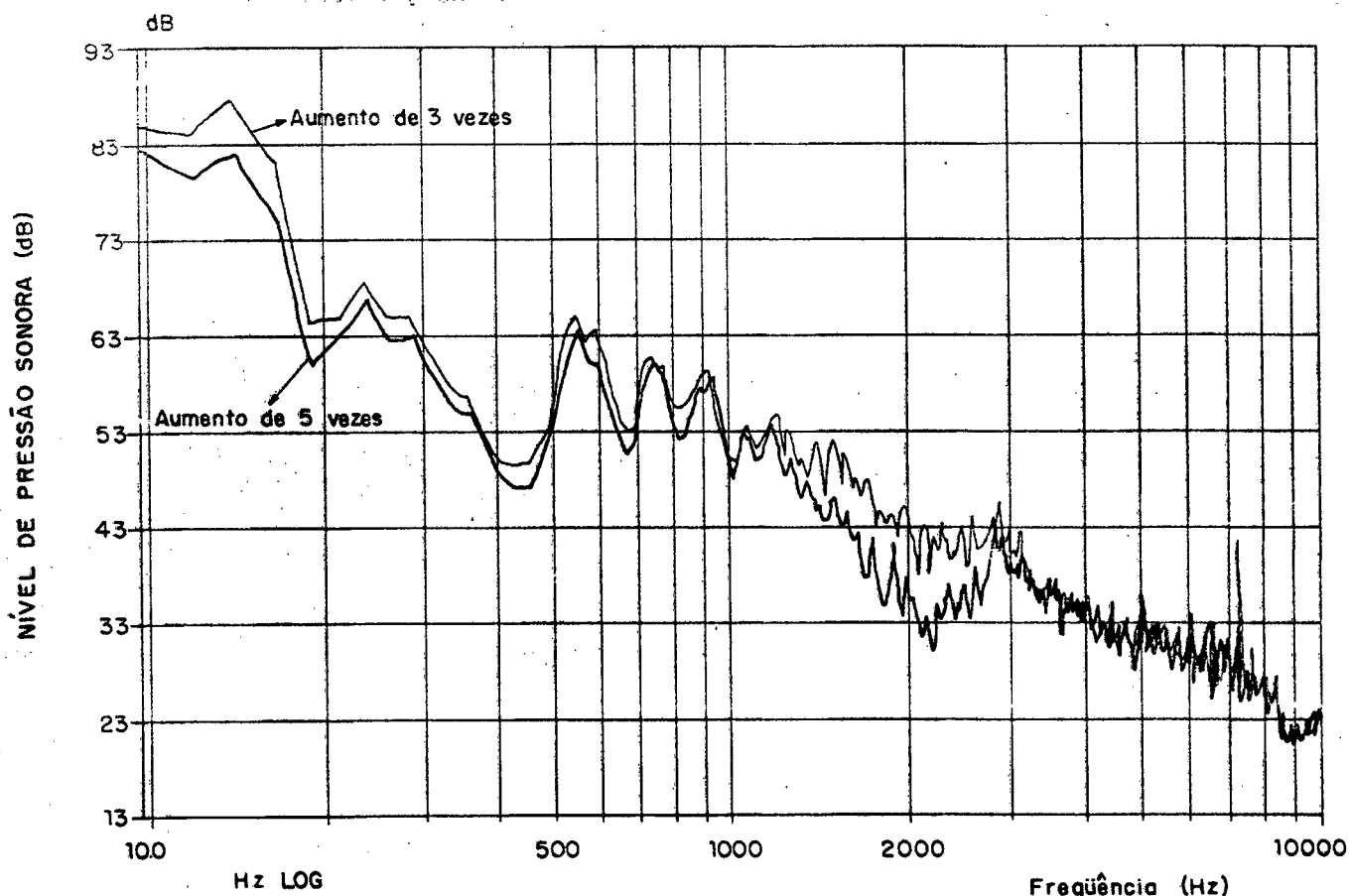


Figura 31 - Atenuação com o aumento da massa de 3 a 5 vezes.

Nesta temos a comparação entre duas conchas que tiveram as suas massa aumentadas em 3 vezes (curva superior) e em 5 vezes (curva inferior). Nota-se que de 3 KHz até 10 KHz as curvas encontram-se praticamente superpostas. Percebe-se portanto que um aumento maior (5 vezes) na massa não acrescentou melhorias consideráveis na atenuação, comparando-se com o aumento de 3 vezes na massa. No entanto o conjunto total do protetor auditivo passaria a ter uma massa de 664 g.

Chega-se a conclusão que o aumento da massa realmente provoca melhoras consideráveis justamente no ponto fraco dos protetores auditivos que são as atenuações em baixas frequências.

Como este trabalho calcou-se em ensaios de protetores auditivos usando o Método Objetivo, ou seja, um método onde não se leva em consideração a análise subjetiva do usuário, uma afirmação conclusiva de que o mesmo rejeitaria um protetor mais pesado não pode ser feita. O que se pode afirmar é que a probabilidade de rejeição ao uso do protetor auditivo devido ao desconforto causado por um peso maior aumentaria, tornando-se imperioso então a realização de ensaios subjetivos.

4.5 VIBRAÇÃO DO PROTETOR

O último caminho de vazamento para análise é a influência da vibração do protetor na atenuação sonora.

Para isto será utilizado um acelerômetro BX 4375 e um microfone BK 4165, conforme montagem apresentada na figura 32.

Nas figuras 33, 34, 35 e 36 são apresentados os sinais do acelerômetro e do microfone obtidos para o acelerômetro posicionado frontalmente (ver figura 32, posição 1) e para o acelerômetro posicionado lateralmente (ver figura 32, posição 2) à concha do protetor tipo X.

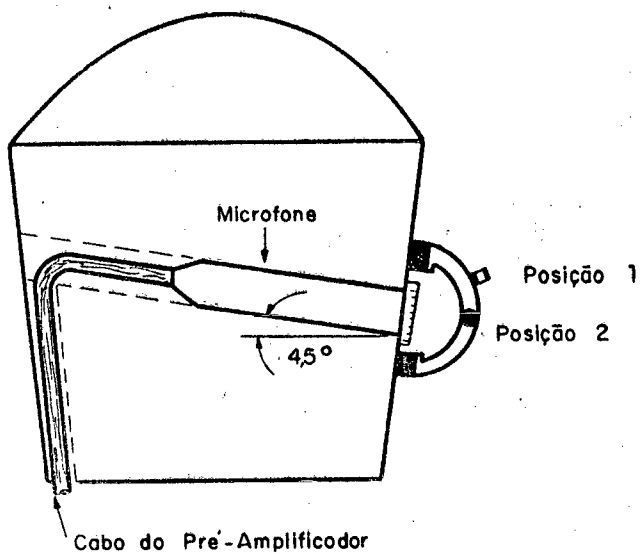


Figura 32 - Acelerômetro BK 4375 posição 1: frontal; posição 2: lateral.

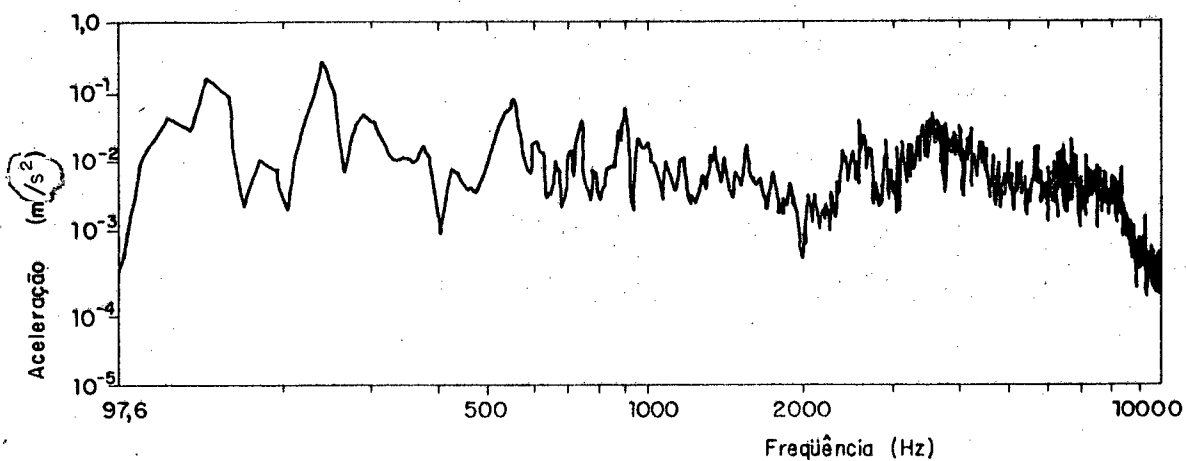


Figura 33 - Sinal do acelerômetro na posição frontal - Protetor tipo X.

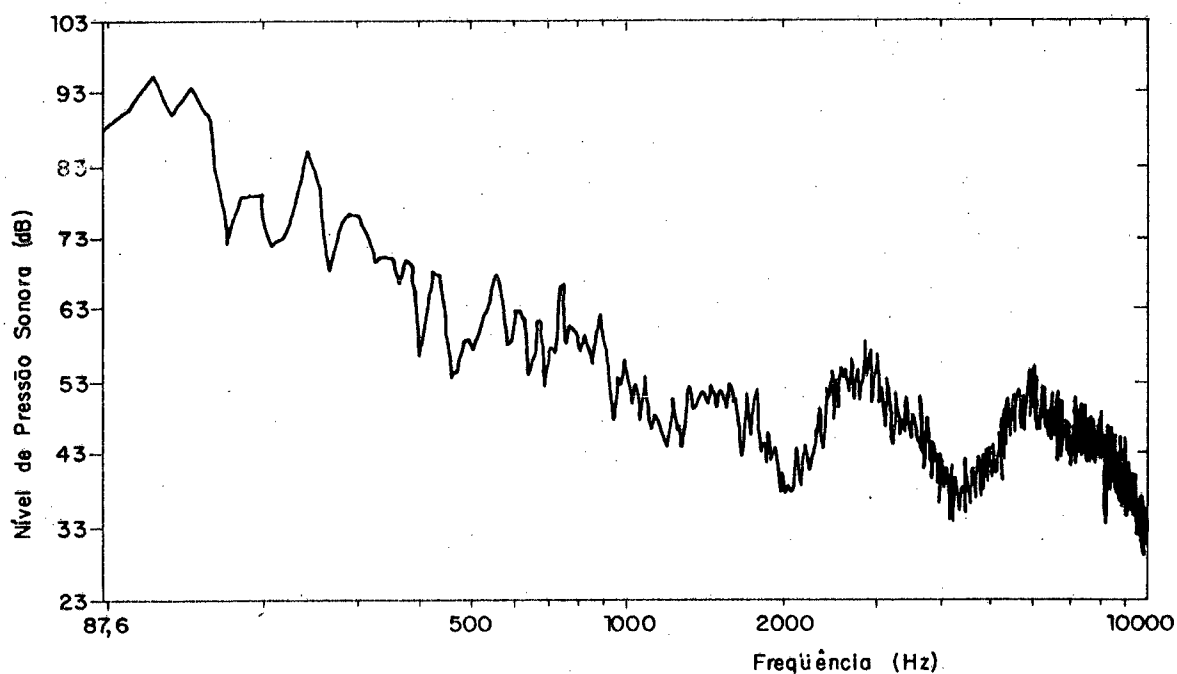


Figura 34 - Sinal do microfone.

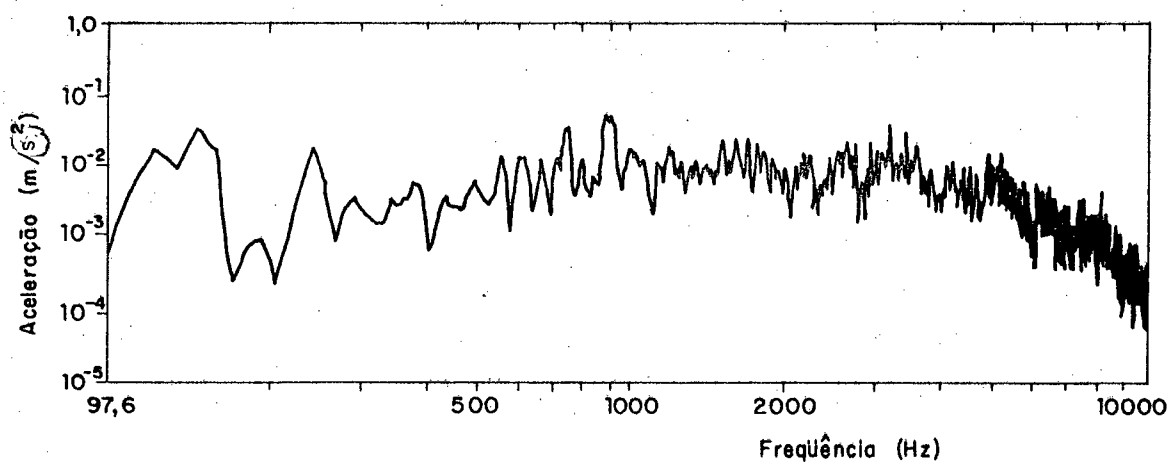


Figura 35 - Sinal do acelerômetro na posição lateral - Protetor tipo X.

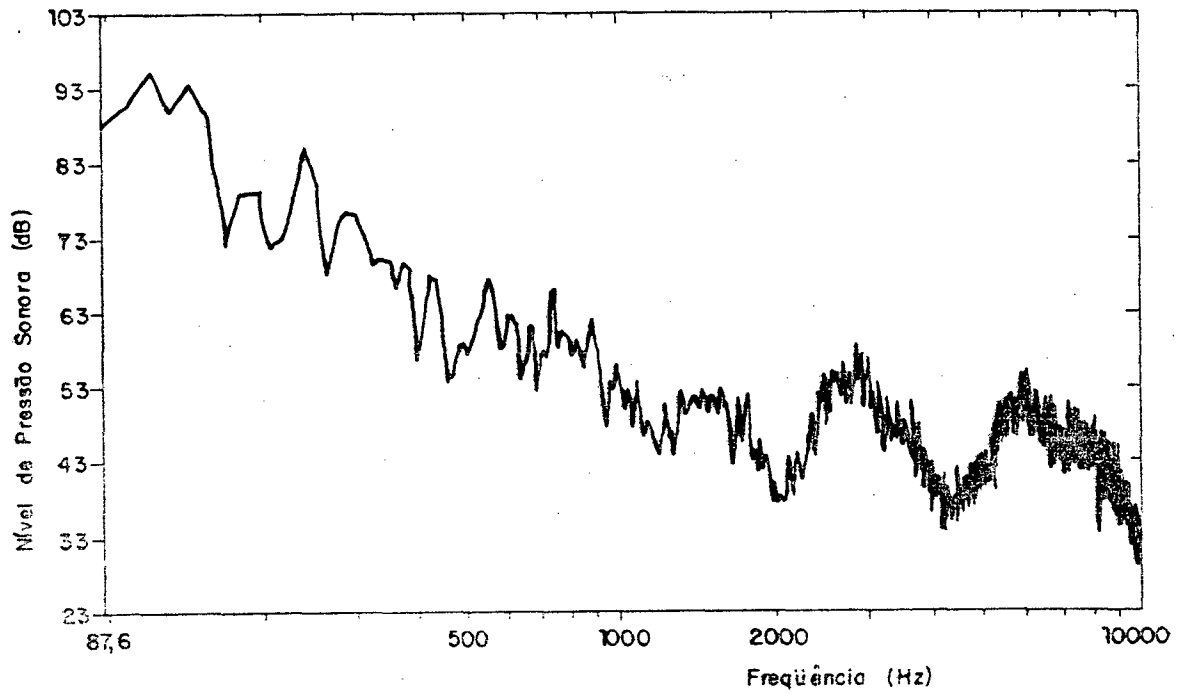


Figura 36 - Sinal do microfone.

A figura 37, mostra-nos as funções de coerência referente aos sinais do acelerômetro e do microfone, apresentados nas figuras 33, 34, 35 e 36.

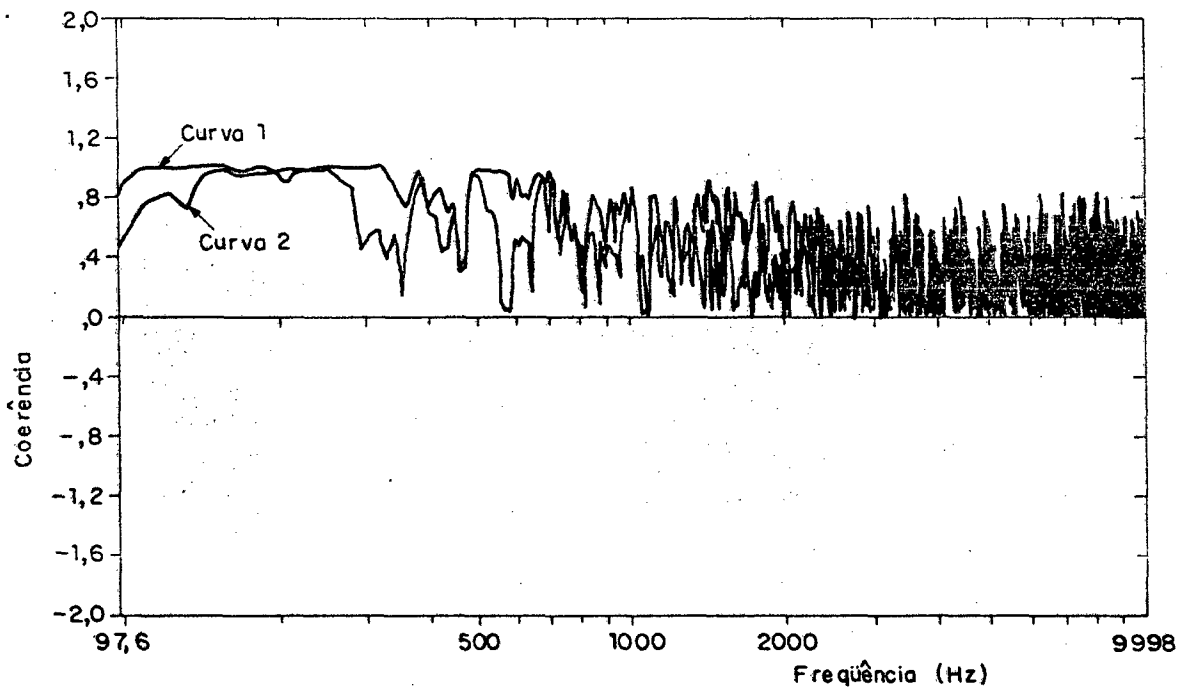


Figura 37 - Funções de coerência entre os sinais do acelerômetro e do microfone para as posições: frontal - curva 1; lateral - curva 2.

Da figura 37, conclui-se que o caminho preferencial de transmissão de energia sonora por vibração do protetor se dá pela superfície frontal da concha. Nesta superfície, curva 1, observa-se que a função de coerência é bastante próxima de "1,0", na faixa de frequência entre 100 Hz e 700 Hz, encontrando-se em torno de "0,8" na faixa de frequências entre 900 Hz e 2000 Hz. O mesmo não ocorre para a outra superfície, curva 2, onde a coerência atinge a unidade somente em uma restrita faixa de frequências. Acima de 2000 Hz a coerência cai expressivamente, tanto para a posição frontal como para a posição lateral.

Nas figuras 38, 39, 40 e 41 são apresentados os sinais do acelerômetro e do microfone obtidos para o acelerômetro posicionado frontalmente (ver figura 32, posição 1) e lateralmente (ver figura 32, posição 2) à concha do protetor tipo Y.

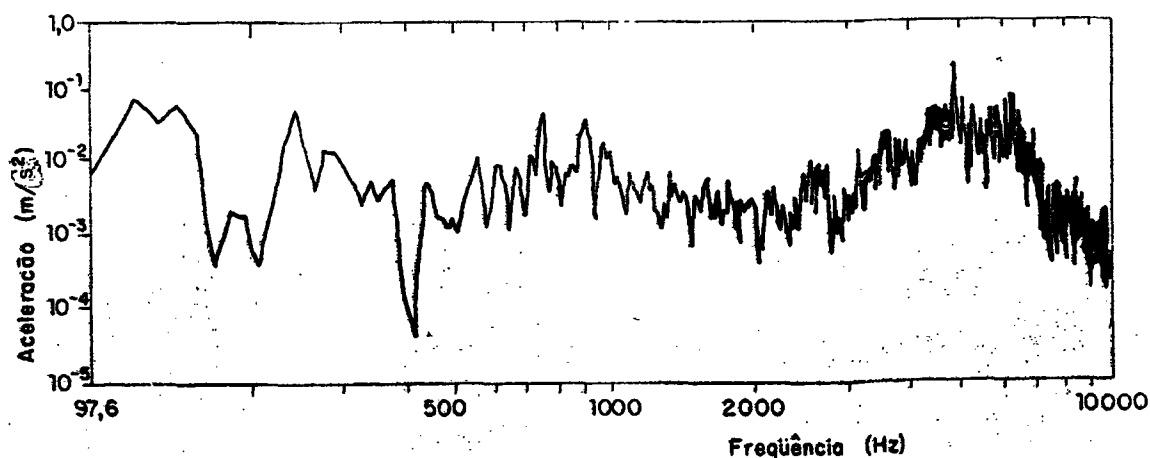


Figura 38 - Sinal do acelerômetro na posição frontal - Protetor Y.

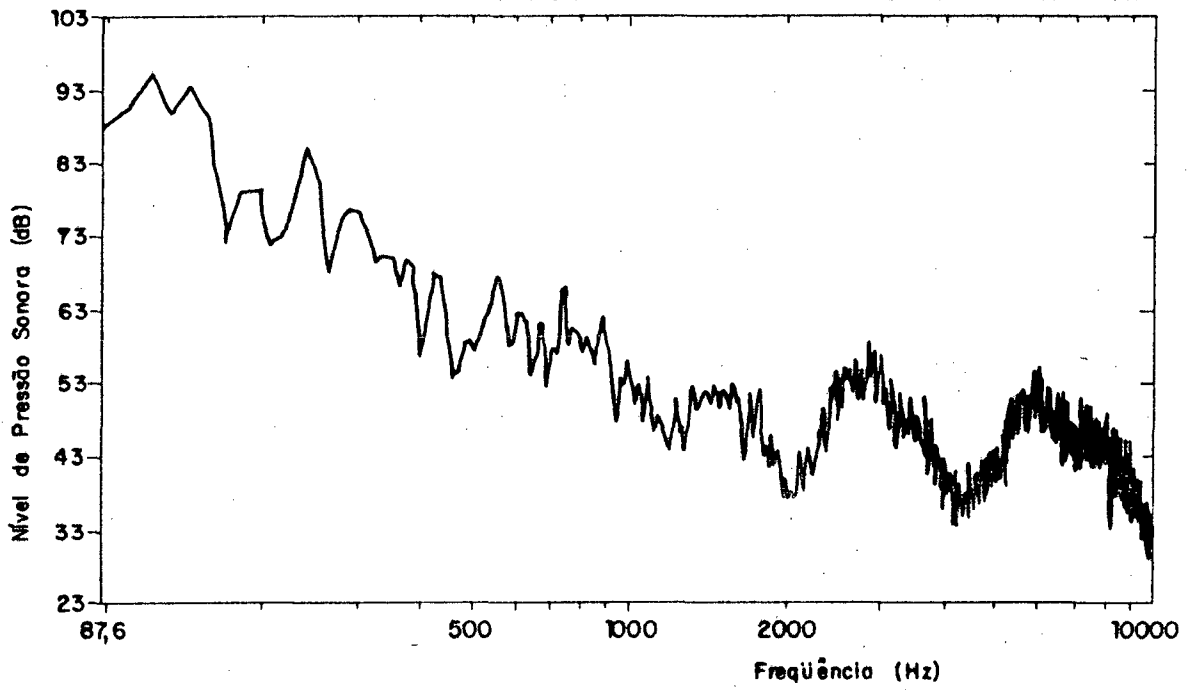


Figura 39 - Sinal do Microfone.

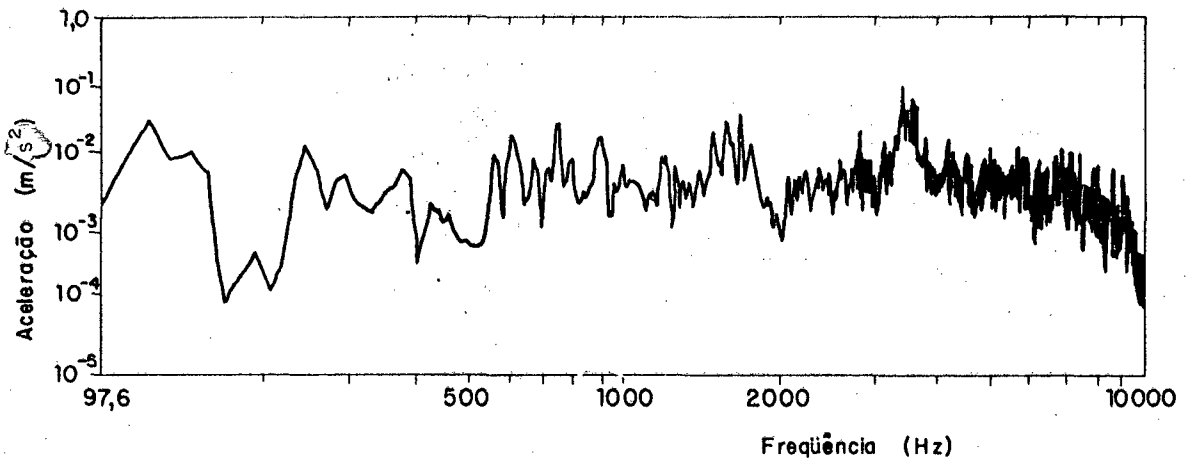


Figura 40 - Sinal do acelerômetro na posição lateral - Protetor tipo Y.

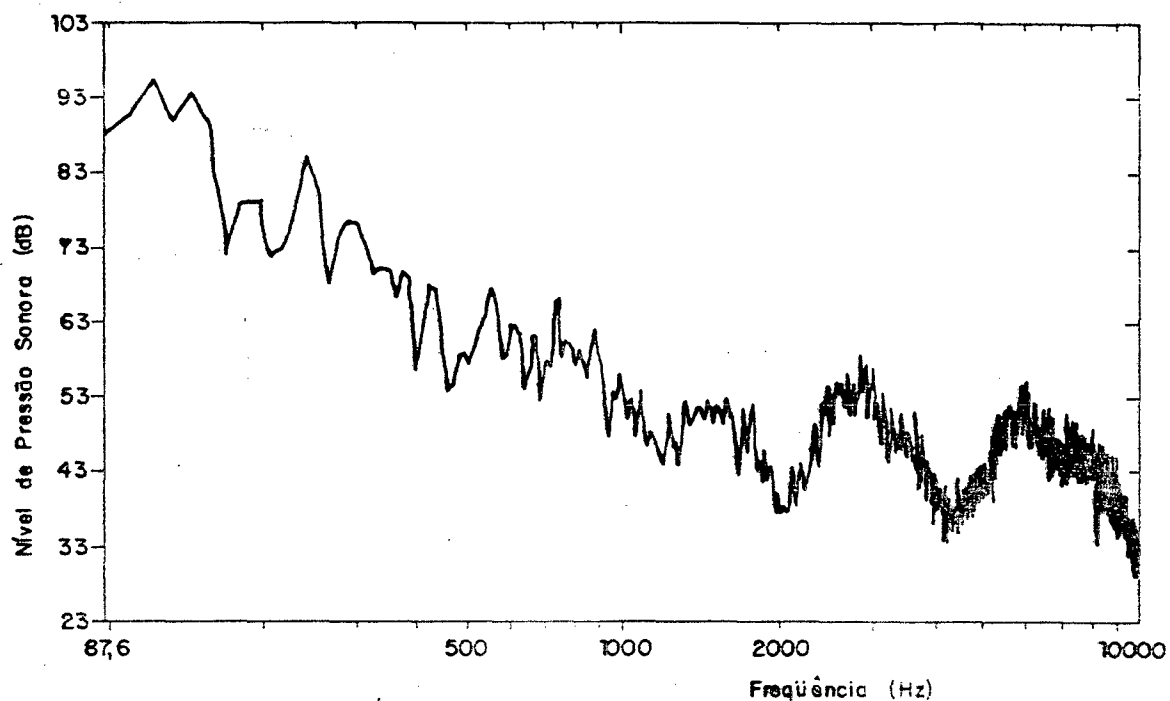


Figura 41 - Sinal do microfone.

A figura 42, mostra-nos as funções de coerência referente aos sinais do acelerômetro e do microfone, apresentados nas figuras 38, 39, 40 e 41.

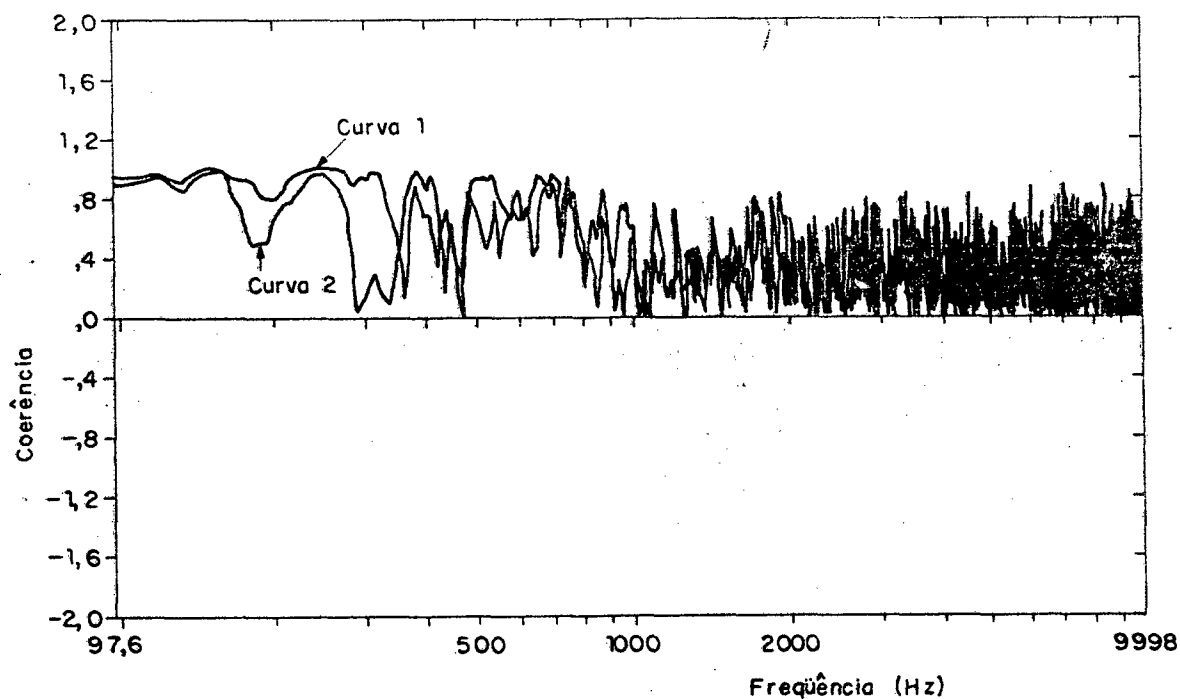


Figura 42 - Funções de coerência entre os sinais do acelerômetro e do microfone para as posições: frontal - curva 1; lateral - curva 2.

Da figura 42, conclui-se que o caminho preferencial de transmissão de energia sonora por vibração do protetor se dá pela superfície frontal, assim como observado anteriormente para o protetor tipo X.

Para se tentar reduzir a transmissão por vibração através da superfície frontal de concha, existem duas alternativas: o aumento da massa e/ou o aumento na rigidez da superfície ou da concha como um todo.

O aumento da massa já foi discutido no item 4.4.6, chegando-se a constatação que somente aumentos consideráveis na massa da concha (aumentos de 3 a 5 vezes a massa original) aumentariam os valores da atenuação de forma significativa.

Pode-se portanto sugerir como um dos temas para trabalhos futuros neste assunto, o projeto estrutural da concha para que seja maximizada a redução do ruído, sem aumentos consideráveis da massa.

CAPÍTULO 5

5.1 COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES

O que buscou-se com este trabalho foi primeiramente, tendo a posse de um procedimento normatizado de avaliação de atenuação de ruído via o uso de protetores auditivos, estudá-lo e torná-lo realizável.

Ao começar este trabalho nos defrontamos com a total discrepância entre os resultados de atenuação fornecidos por outros institutos de pesquisa tais como: o IPT, o Instituto de Eletrotécnica da USP, a FUNDACENTRO e o INMETRO. Além da descintonia entre os institutos de pesquisa. O grande problema estava na inexistência de uma uniformização dos procedimentos experimentais.

Na UFSC, a nossa dúvida era sobre a utilização do Método Subjetivo ou do Método Objetivo. Devido aos poucos recursos alocados pelo Ministério do Trabalho que patrocinou parte desta pesquisa, optamos pelo Método Objetivo, principalmente por ser o menos dispendioso com relação a dois parâmetros cruciais: tempo e dinheiro.

O Método Objetivo requer basicamente o uso de uma cabeça artificial, evitando-se assim o fato de em usando o Método Subjetivo haver a necessidade de seleção e treinamento de voluntários para a realização dos testes.

Como base teórica utilizou-se as normas ISO/DIS 6250 e a ANSI S3.19 - 1974. As duas normas como apresentado no Capítulo 2 não apresentam maiores diferenças entre os seus procedimentos experimentais. A utilização da norma ISO conjuntamente com a ANSI deveu-se ao fato de na qualificação do

campo acústico não dispormos do microfone exigido pela ANSI. No entanto seguindo a normatização da norma ISO foi plenamente possível qualificar o campo acústico como foi detalhadamente mostrado no Capítulo 2.

Foi construída então, a cabeça artificial e o mecanismo para a avaliação da força exercida pela haste de ligação das conchas contra as faces laterais da cabeça do usuário.

O fator mais importante com relação a construção da cabeça artificial é com relação ao material que foi utilizado para este fim. Conforme as medições apresentadas no Capítulo 2, utilizou-se primeiramente uma cabeça construída em madeira. Ocorreu aí o fracasso experimental quando não foi conseguido os valores de isolamento acústico adotados pela norma. Ao efetuarmos a mudança para uma cabeça de ferro o problema foi melhorado.

Com relação as medições de força, o problema é que apesar de ser um procedimento também normatizado não encontramos outros dados a nível nacional, tanto de institutos de pesquisa como de fabricantes que nos possibilitasse a confrontação com os resultados obtidos durante a realização deste trabalho.

Com relação aos valores obtidos para a força de contato não foi possível fazer uma avaliação qualitativa dos protetores testados considerando-os confortáveis ou desconfortáveis. Isto porque para esta análise seria necessário uma avaliação subjetiva.

No Capítulo 3, foi mostrado como esta avaliação subjetiva é variável chegando mesmo a ser conflitante. Segundo testes desenvolvidos por Behar [18], indivíduos submetidos a força de 5,0 a 5,9 N sentiram-se extremamente confortáveis, enquanto outro grupo submetido a forças em torno de 5,9 N sentiram-se desconfortáveis.

Cabe aqui então uma sugestão para que os institutos envolvidos

na análise de protetores desenvolvam ensaios que busquem aprimorar a obtenção de dados com relação ao efeito que a força de contato causa sobre o usuário. Pode-se citar como um primeiro passo a melhora no projeto do aparelho que mede a referida força.

No Capítulo 2, foram também apresentados, medidos e discutidos os parâmetros de teste que devem ser avaliados para que as medições de atenuação sejam dotadas de credibilidade.

Um dos parâmetros essenciais é a avaliação do Campo Acústico da Sala de Testes.

A norma ANSI estabelece a necessidade do uso de um microfone direcional que apresente uma resposta polar em campo livre em torno de 10 dB, para as posições frente-costas e frente-lado.

O problema da qualificação do campo acústico começava e terminava nesse item, pois o Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC não dispõe de tal microfone.

Na tabela 2 - Capítulo 2 onde realizou-se uma comparação entre as principais especificações das normas ANSI e ISO, verificou-se que para a norma ISO a avaliação do campo acústico poderia ser feita através do uso de um microfone omnidirecional, do qual existem exemplares no L. V. A.

Basicamente a norma ISO exige que para considerar o ambiente de testes como tendo características de campo incidência aleatória a diferença, entre os níveis de pressão sonora medidos a uma certa distância de um ponto de referência e os níveis de pressão sonora medidos nesse ponto, não ultrapasse certos limites. Estes limites são $\pm 2,5$ dB para as posições: frente-costas: direita-esquerda e acima-abaixo, e ainda a diferença entre o NPS medido à direita e a esquerda do ponto de referência, não deve exceder 3 dB. Salienta-se que estas posições devem estar a 15 cm do ponto de referência.

A avaliação completa do campo acústico foi apresentada no Capítulo 2, mais precisamente nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9. A observação de todo esse conjunto de dados, levou a conclusão que a partir de 400 Hz tem-se um campo acústico que satisfaz as restrições acima, ou seja, a partir de 400 Hz tem-se um campo qualificado.

Nas bandas de 125, 160, 200, 250 e 315 Hz, observou-se que existe uma instabilidade do campo acústico. Em algumas posições as diferenças entre os níveis de pressão sonora estão além dos limites de variação permitidos pela norma e em outras posições isso não ocorre.

Isso pode ser explicado pelo fato da câmara utilizada nos testes ter pequenas dimensões, (1,5m x 1,2m x 1m), o que vem causar uma densidade modal, justamente nas baixas frequências. E justamente são as baixas frequências que estão apresentando instabilidade na avaliação do campo acústico.

A razão da escolha da câmara pequena deveu-se ao fato de na câmara grande não ter sido possível conseguir-se os níveis de pressão sonora por banda de frequência testada, que são exigidos pela norma ANSI. A tabela 10 - Capítulo 2, apresenta os resultados obtidos na câmara grande, onde o nível máximo conseguido foi de aproximadamente 88 dB e o mínimo de 74 dB. A norma requer um mínimo de 85 dB por banda. A tabela 11 apresenta os resultados na câmara pequena e lá o nível mínimo foi de 97 dB e o máximo de 104,5 dB.

Não se dispondo de fontes sonoras que fornecessem os níveis de pressão sonora desejados, só restou utilizar a câmara pequena.

Observando-se as tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9, nota-se que das 19 bandas de frequências testadas, somente 5 não encontram-se dentro da designação de qualificadas. Como o ruído industrial, onde normalmente são encontrados protetores auditivos e para o qual estes destinam-se em seu

aspecto mais amplo de utilização, encontra-se numa faixa de 63 Hz até aproximadamente 6000 Hz, conclui-se que o sistema utilizado para as medições e análises é confiável.

No Capítulo 2 realizou-se também as medições do isolamento acústico da cabeça artificial. Este isolamento é determinado com o uso de um copo metálico de vedação, o qual funciona como um protetor auditivo. A norma ANSI especifica então que deve-se conseguir com este protetor metálico um isolamento acústico ou atenuação de pelo menos 60 dB por banda de frequência testada. As tabelas 12, 13, 14, 15 e 16, retratam o vasto trabalho experimental que foi realizado em busca desse isolamento.

A tabela 16 traz então os resultados finais do isolamento acústico onde observa-se um valor mínimo de 36,5 dB em 125 Hz e 75 dB em 4000 Hz.

O grande problema foi conseguir-se o isolamento nas baixas frequências. De 125 Hz até 500 Hz o isolamento ficou abaixo dos 60 dB. Em 400 Hz e 500 Hz obteve-se valores mais próximos dos 60 dB como 56,2 dB e 58 dB respectivamente.

É de conhecimento geral a dificuldade em se realizar isolamentos acústicos em baixas frequências e os resultados experimentais demonstraram este fato. De 630 Hz até 8000 Hz obteve-se o valor mínimo de 60 dB em todas as bandas.

Observando-se os valores de atenuação, nas bandas onde não chegou aos 60 dB de isolamento estes estão bem aquém dos valores de isolamento obtidos experimentalmente.

Os valores de atenuação obtidos perderiam a função de representar experimentalmente a atenuação fornecida pelos protetores testados se essas atenuações se iguallassem ou fossem superiores aos valores de

isolamento acústico obtidos nas bandas de frequência citadas a seguir.

Frequência [Hz]	Isolamento (dB)	Atenuação (dB) e Desvio Padrão (σ)		
		"X"	"Y"	"Z"
125	36,5	4,4 (1,0)	-2,2 (1,8)	0,60 (2,7)
160	42,0	3,9 (0,8)	-2,1 (1,1)	4,50 (3,1)
200	47,2	12,6 (1,6)	+5,8 (1,4)	12,3 (4,2)
250	50,5	17,6 (0,6)	13,7 (0,9)	19,0 (3,1)
315	53,3	23,7 (1,0)	17,7 (0,8)	22,40 (4,0)
400	56,2	28,6 (1,3)	24,2 (0,9)	26,7 (3,6)
500	58	23,2 (1,5)	23,6 (1,1)	28,8 (3,3)

Portanto os resultados não são prejudicados e a sua coerência é mantida, pois a faixa dinâmica do sistema é mantida em todo o espectro.

Com relação aos parâmetros de teste: sinal elétrico da fonte de testes o que há a se dizer é que o mesmo está dentro dos requisitos normatizados.

Com relação a pele artificial assumiu-se a veracidade da informação do fabricante com relação ao valor da dureza Shoore "0" da mesma. Não houve uma preocupação maior com este parâmetro pois toda a bibliografia pesquisada e estudada indicava na direção da inexistência de efeitos nos valores de atenuação devida ao uso da pele artificial.

No capítulo 4, é realizada uma análise dos elementos componentes do protetor, buscando quantificar e analisar que possíveis mudanças nesses elementos causariam alterações no desempenho do protetor auditivo. A aquisição destes dados tem o objetivo de melhorar o projeto do protetor.

Como já citado existem 4 caminhos de vazamento sonoro, ou sejam,

caminhos por onde se perde a eficiência do protetor em atenuação.

Relembrando, estes vazamentos ocorrem através da:

- transmissão sonora através dos materiais componentes da concha;
- transmissão sonora através do vazamento aéreo;
- vibração do protetor;
- transmissão sonora através da condução óssea.

A transmissão óssea é o fator limitante do desempenho de qualquer protetor auditivo. Pois por maior que fossem estas atenuações, elas chegariam a um limite onde então dar-se-ia lugar a transmissão através dos ossos e dos tecidos do corpo humano. Portanto como nenhum desses meios condutores pode ser eliminado totalmente, fica evidente a existência desse limite.

Segundo dados apontados por Zwislocki [19] estes limites de atenuação são:

45 a 50 dB —→ para 1500 a 2000 Hz

50 dB —→ para 2000 a 6000 Hz

Para que o efeito da condução óssea pudesse ser avaliado seria necessário que se utilizasse uma cabeça real, a qual evidentemente é composta por todos os ossos do crânio. No caso de utilizar-se uma cabeça artificial o que poderia ser feito seria incorporar a ela a modelagem da estrutura do crânio. No entanto este trabalho desenvolveu-se não considerando o efeito da condução óssea.

A transmissão sonora através do vazamento aéreo ocorre normalmente devido ao ajuste irregular das conchas do protetor com as faces laterais da cabeça e também devido em alguns casos a pouca força que a haste que une as conchas, exerce contra as faces laterais da cabeça do usuário. Assim estas folgas permitem a entrada do ar dentro da concha e conseqüentemente no ouvido do usuário, procurando o descréscimo nos valores de atenuação.

Uma das tentativas apresentadas no Capítulo 4 foi o aumento da força. Após efetuar-se um aumento na força significativamente maior que aquela normalmente exercida pelo protetor, observou-se que os resultados foram totalmente insatisfatórios. Conseguiu-se, é claro, uma melhoria na atenuação na faixa de 100 Hz até 800 Hz. Mas em face do aumento extremo da força, conclui-se que o aumento da força não é recomendável, pois não é respeitado o parâmetro "máximo de atenuação possível com o conforto do usuário".

Na figura 14, mostrou-se que E.A.G. Shawn [19] também chegou a conclusão de que um aumento limitado em atenuação pode ser esperado, para um grande acréscimo na força de contato.

Outra tentativa foi utilizar um material selante (vaselina) na região de contato entre a concha e a cabeça e posteriormente entre a região da almofada em contato com as faces laterais da cabeça. Os resultados experimentais apresentados nas figuras 16 e 17 mostraram que as melhorias na atenuação foram inexpressivas.

Chega-se então a conclusão de que o vazamento aéreo não afeta o desempenho do protetor em testes de atenuação com cabeças artificiais. Com grande probabilidade isto ocorre porque a cabeça artificial não incorpora os contornos anatômicos das faces laterais da cabeça humana. O contato entre as conchas e estas faces é plano. Quando o protetor é utilizado numa cabeça

humana, por melhor que seja o selamento existente entre as conchas e as faces laterais, na medida em que os usuários forem levados a efetuar movimentos mandibulares com maior ou menor grau de intensidade, estes tenderão a romper o selamento. Rompido o selamento certamente o som chegará facilmente ao ouvido do usuário. A comparação do efeito anatômico na cabeça artificial seria de grande valia para estudos futuros.

Um protetor auditivo compõe-se de duas conchas mais a haste de fixação dessas conchas. Fazem parte da concha: a espuma de revestimento interno e a almofada.

A almofada é a parte do protetor que entra em contato direto com a cabeça do usuário. Ela é feita de material macio visando aí o conforto e o ajuste do protetor as formas anatômicas da cabeça do usuário.

Neste trabalho retirou-se a almofada mantendo todos os demais componentes inalterados. A concha então sem almofada foi colada na pele artificial e o conjunto resultante fixado na cabeça. A concha foi colada para assegurar-se que não haveria vazamento sonoro na região de contato da concha com a face lateral da cabeça ou pelo menos que o mesmo seria atenuado.

Os resultados experimentais obtidos e retratados nas figuras 18, 19 e 20 levam a conclusão de que as atenuações melhoraram com a retirada da almofada. Este fato ficou sempre evidente para os modelos de protetores tipo X, Y e Z. Para estes modelos, entre 125 Hz e 1250 Hz (protetores Y e Z) e 125 Hz e 1600 Hz (protetor X), obtiveram-se aumentos nas atenuações da ordem de 2 dB até 12 dB. Considerando que nestas faixas, especialmente nas baixas frequências os protetores apresentam baixos valores de atenuação, chega-se a conclusão de que a almofada deveria ser mais profundamente estudada pelos fabricantes pois torna-se evidente que na região de contato entre a almofada e a cabeça existe vazamento sonoro e conseqüentemente perda de atenuação.

O que poderia ser estudado seria a modificação na rigidez da almofada e também estudar a substituição do ar no enchimento das almofadas por um fluido mais denso.

Outra alteração efetuada foi a retirada da espuma de revestimento interno da concha. Nesse caso foi recolocada a almofada. Observando as figuras 21, 22 e 23 elas mostram claramente que nas altas frequências ocorrem quedas abruptas nos valores de atenuação quando a concha não é revestida com espuma. Isto só vem corroborar a teoria que nos diz que quando as dimensões de um espaço e um múltiplo de meio comprimento da onda sonora, que passa por ele tiverem dimensões comparáveis, ocorrerá um fenômeno conhecido em acústica como ressonância.

Nas altas frequências os protetores auditivos testados apresentaram valores muito bons de atenuação acústica. Caberia aqui somente um estudo que identificasse se o uso de uma espuma ou outro material com características de absorção acústica, melhores dos que os estudados, apresentariam ou não alguma modificação nos valores de atenuação sonora.

A modificação seguinte, foi então medir-se a atenuação sonora somente utilizando para este fim a concha. Portanto foram retiradas a almofada e a espuma. Os resultados experimentais estão apresentados nas figuras 24, 25 e 26 contidas no Capítulo 4. Destas figuras pode-se concluir que de 125 Hz até 1600 Hz os protetores sem a almofada apresentaram atenuações maiores que os protetores completos e que nas altas frequências a queda nas atenuações é comandada pelas ressonâncias acústicas devido a ausência da espuma. O que fica claro com estas figuras, é que a modificação causada nos valores da atenuação pela retirada da almofada e pela retirada da espuma atuam de maneira independente, ou seja, cada um destes elementos atua em faixas de frequências diferentes.

No capítulo 4, foram também realizadas medições visando identificar se a vibração da concha do protetor comporta-se como um caminho importante de vazamento da energia sonora. Através dos resultados experimentais mostrados no item 4.5, figura 29, 30, 31 e 32, chegou-se a conclusão de que realmente a vibração da concha do protetor funciona como um caminho de vazamento sonoro. Este fato dá-se em especial nas regiões de baixa frequência, onde as medições da função de coerência entre os sinais do acelerômetro e do microfone de testes imbutido na cabeça artificial estiveram sempre próximas à unidade. Outra constatação realizada através destes resultados experimentais é que a superfície frontal da concha é o caminho preferencial desse vazamento sonoro.

Como sugestão para algum trabalho futuro de desenvolvimento de um novo modelo de protetor auditivo, é colocada a necessidade do intercâmbio com algum fabricante, que se dispusesse à fornecer protótipos com diferentes massas para as conchas e ou em especial conchas com rigidez diferenciada.

Dados de redução ou atenuação de ruído via banda estreita são importantes nos estágios de desenvolvimento de produtos onde se deseja encontrar as origens da pequena redução de ruído ou atenuação de ruído em determinadas frequências.

Entretanto a especificação da atenuação de ruído pelo uso de protetores auditivos costuma ser apresentada em faixa de $1/3$ de oitava pelas normas internacionais conforme foi extensivamente discutido no Capítulo 2.

Com este trabalho, partindo-se de um procedimento normatizado apresentaram-se os parâmetros necessários a realização de medições de atenuação. Estes parâmetros, alguns deles foram exaustivamente medidos até que se conseguisse as condições experimentais, se não as ideais pelo menos o mais perto possível destas. Conseguiu-se mostrar então, que um procedimento

experimental pode ser o mesmo independente do laboratório ou pesquisador que o esteja manipulando. Isto possibilita que os dados medidos em lugares diferentes possam ser comparados e analisados.

Algumas questões ficaram aqui levantadas como: o problema da transmissão sonora através da almofada, onde foi possível constatar a elevação dos valores de atenuação quando esta é retirada; o problema de vibração da concha, tendo como caminho preferencial de vazamento sonoro, a superfície frontal da mesma; o problema com relação a fabricação de uma haste que una as conchas do protetor proporcionando uma força adequada com uma boa vedação no contato conchas e superfícies laterais da cabeça.

Estas questões, dentre outras, podem levar e é certo que levarão ao desenvolvimento de um modelo de protetor auditivo mais confortável e eficaz. Alcançando assim o objetivo primeiro de um protetor auditivo que é a proteção da audição e conseqüentemente a proteção da saúde do trabalhador sofrido brasileiro.

5.2 CONCLUSÕES

As principais conclusões extraídas deste trabalho são as seguintes:

1. Aumento da Força

Verificou-se que somente aumentos elevados na força de contato causaram resultados melhores em atenuação. Como o aumento da força é indesejado, pois afeta o conforto na utilização dos protetores, chegamos a conclusão que este procedimento não deve ser utilizado na busca de atenuações sonoras mais elevadas.

2. Uso de Material Selante

O uso do material selante na região de contato entre a concha e a cabeça artificial e entre a almofada e cabeça, apresentou inexpressivas modificações nos valores das atenuações.

Concluimos então que o vazamento aéreo não é um caminho preponderante para as perdas em atenuação sonora quando são utilizados cabeças artificiais, isto ocorrendo pois o contato entre as conchas e as faces laterais da cabeça é plano. Estudos subsequentes deveriam englobar o efeito dos contornos anatômicos das faces laterais da cabeça humana.

3. Aumento da Massa da Concha

Aumentando-se a massa da concha em três vezes o seu valor original conseguiu-se aumentos nos valores de atenuação nas seguintes faixas de frequência:

- 100 Hz a 300 Hz → ganhos da ordem de 17 dB
- 700 Hz a 800 Hz → ganhos da ordem de 11 dB
- 1 KHz a 3 KHz → não houve ganhos
- 3 KHz a 3 KHz → ganhos da ordem de 10 a 15 dB
- 1 KHz a 10 KHz → Não houve ganhos

Ficou claro que o aumento da massa altera os valores de atenuação, sendo que as maiores alterações ocorreram nas baixas frequências, onde em geral os protetores apresentaram valores de atenuações muito reduzidos. O grande problema está no fato de que o aumento de massa poderá aumentar a rejeição ao uso do protetor, devido ao aumento do peso total do mesmo. Portanto faz-se imperioso uma análise subjetiva que identifique os

limites dentro dos quais o aumento na massa provoque a menor rejeição possível. Pois não adianta termos um excelente protetor se o usuário não o utilizar.

4. Atenuação do Protetor Sem a Almofada

A retirada da almofada provocou aumentos nas atenuações para os três tipos de protetores, da ordem de 2 a 12 dB, na faixa de frequência entre 125 Hz e 1600 Hz.

Considerando que nestas faixas, especialmente nas baixas frequências os protetores apresentam baixos valores de atenuação, chega-se a conclusão de que a almofada deveria ser atentamente estudada pois está evidente que através dela ocorrem vazamentos sonoros. Como sugestão para estudos futuros podemos apontar alterações na rigidez da almofada e ou a substituição do ar no enchimento da mesma por um fluido mais denso.

5. Atenuação do Protetor Sem a Espuma de Revestimento da Cavidade da Concha

A retirada da espuma causou o aparecimento de ressonâncias acústicas na cavidade da concha, o que fez os valores da atenuação diminuírem consideravelmente nas altas frequências.

Para os modelos de protetores testados as perdas em atenuação foram as seguintes:

- Protetor tipo X - picos de ressonância em 2500, 4000 e 8000 Hz:
perdas da ordem de 9, 10 e 14 dB respectivamente.
- Protetor tipo Y - picos de ressonância em 2500 e 5000 Hz:
perdas da ordem de 10 e 16 dB respectivamente.

- Protetor tipo Z - picos de ressonância em 3150 e 8000 Hz:

perdas da ordem de 20 dB em cada pico.

Portanto o uso da espuma é essencial ao bom desempenho dos protetores auditivos tipo concha, especialmente se estes estiverem sendo utilizados em ambientes de trabalho onde sejam dominantes as altas frequências.

6. Atenuação do Protetor Sem a Almofada e Sem o Revestimento Interno da Concha

Ao serem retiradas a almofada e o revestimento interno da concha pode-se constatar o seguinte: de 125 até 1600 Hz os protetores sem a almofada apresentaram atenuações maiores que os protetores completos e que nas altas frequências a queda nas atenuações é comandada pelas ressonâncias acústicas devido a ausência da espuma. Portanto a retirada da almofada e da espuma atuam em faixas de frequências diferentes, não havendo influência de uma sobre a outra.

7. Qualificação do Campo Acústico

Segundo a avaliação do campo acústico da sala de testes para a realização das medições de atenuação por via analógica, o mesmo encontra-se qualificado segundo a norma ISO/DIS 6290 para as bandas de frequência entre 400 Hz e 8000 Hz.

8. Isolamento Acústico

Para as bandas de frequências entre 125 Hz e 500 Hz não se conseguiu chegar ao isolamento acústico da cabeça artificial de 60 dB por banda segundo a norma ANSI S3.19. No entanto os valores obtidos para o isolamento estiveram bem acima dos valores observados para as atenuações dos

protetores testados no mesmo intervalo de frequências. Portanto os resultados registrados para as atenuações não são prejudicados pois manteve-se a faixa dinâmica do sistema de medição.

9. Atenuações Sonoras

Para os três modelos de protetores testados, num total de 30 amostras, constatou-se que em geral nas bandas de frequências entre 125 Hz e 160 Hz ocorreram os menores valores de atenuações. A partir de 200 Hz inclusive até 8000 Hz as atenuações aumentaram de valores em torno de 12 dB até atenuações de 46 dB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZANIN, PAULO HENRIQUE T., e GERGES, SAMIR N.Y. "Atenuação de Ruído por Protetores Auditivos", Vol. II, pp. 805-808, COBEM 1987.
- [2] BERGER, E.H., "Hearing Protector Performance: How They Work-and What goes Wrong in the real ear World", Earlog 5, 1982.
- [3] BERGER, E.H., KERIVAN, J.E. and MINTZ, F., "Inter - Laboratory Variability in the Measurement of Hearing Protector Attenuation, Sound and Vibration, 16, 1, 14-19, 1982.
- [4] BERGER, E.H., "Single Number Measures of Hearing Protector Noise Reduction", Earlog 2, 1980.
- [5] BOTSFORD, J.H., "How to Estimate dBA Reduction of Ear Protectors", Sound and Vibration. Vol. 7, N^o 11, 32-33, 1973.
- [6] BOLKA, D.F., "Methods of Evaluating the Noise and Pure Tone Attenuation of Hearing Protectors", Ph.D thesis, Pennsylvania State University, 1972.
- [7] WHITTLE, L.S., SUTTON, G.J., and ROBINSON, D.W., "The Objective Measurement of the Atenuation of Hearing Protectors of the Circumaural Type", National Physical Laboratory Rep. Ac. 87, England, 1978.
- [8] BRINKMANN, N., "Noise Reduction Provided by Hearing Protectors", 9th Int. Congr. on Acoustics, Madrid, 4/9 - VII, 61-70, 1977.

- [9] BRINKMANN, K., and SERRA, M.R. "Objective Sound Attenuation Tests of Earmuff Hearing Protectors in Open and Diffuse Lound Fields (in German; translation available from E-A-R- Division, Cabot Corp)," PTB - Bericht PTB-AX-15, Braunschweig, Germany, 1978.

- [10] CHILLERY, J.A. "Objective Measurement of the Attenuation of Circumaural Hearing Protectors", Inst. of Sound and Vibration Research, Tech. Rep. N° 602, Southampton, England, 1980.

- [11] RUSSEL, M.F., and MAY, S.P. "Objective Test for Earmuffs", J. Sound Vib. 44(4), 545-562, 1976.

- [12] AMERICAN NATIONAL STANDARS INSTITUTE, "Method of the Measurement of Real-Ear Attenuation of Ear Protectors at Threshold", Z24.22, 1957 (R 1971).

- [13] AMERICAN NATIONAL STANDARS INSTITUTE, "Method for the Measuring of Real-Ear Protection or Hearing Protectors and Physicol Attenuation of Earmuffs", S3.19 - 1974 (ASA - STD 1-1975)(R 1971).

- [14] AMERICAN NATIONAL STANDARS INSTITUTE, "Method for the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors", S12.6, 1984 (ASA 55- 1984).

- [15] INTERNATIONAL STANDARS ORGANIZATION, "Acoustics - Simplidied Method for a Measurement of Insertion Loss of Hearing Protectors of Ear-muff type for Quality Control Purposes", ISO/DIS 6290 - ISO/TC 43/SC 1 N 489, February, 1982.

- [16] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, "Method of Measurement of Attenuation of Hearing Protectors at Threshold", B55108 - 1974.

- [17] SAVICH, M.U. and WEGLO, K.J.K., "Attenuation Measurements of Ear-muffs at Falconbridge Limited", Canadian Nickel Division, Sudbury, Operations, 1984.
- [18] BEHAR, ALBERTO, "Field Evaluation of Hearing Protectors", Safety Services Department; Ontario Hydro; Box 169; Pickering, Ontario, Canada L1V1R5.
- [19] ZWISLOCKI, J., "In Search of the Bone-Conduction Threshold in a Free Sound Field", Psycho-Acoustic Laboratory, Harvard University, Cambridge, Massachusetts. The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 29, N° 7, 1975.
- [20] SHAW, E.A.G., "Hearing Protector Attenuation: A Perspective View", Division of Physics, National Research Council, Ottawa (Canada). Applied Acoustics (12), 1979.

APÊNDICE I

I Dados Necessários

Atenuação média e desvio padrão do protetor auditivo para as frequências definidas de acordo com a norma ANSI S3.19.

II Formato de Cálculo

Frequências de banda de oitava (Hz)	125	250	500	1000	2000	40000	8000
a) Níveis de banda de oitava em dB (A) de um ruído rosa arbitrário de 100 dB por banda	83,9	91,4	96,8	100,0	101,2	101,0	98,9
b) Atenuações médias						*	**
c) Desvio padrão vezes 2						*	**
d) Níveis, em dB (A), por banda de oitava após o uso protetor auditivo $d = a - b + c$							

e) Nível global, após o uso do protetor, em dB(A) (somatória logarítmica dos níveis do Ctmd).

f) $NRR = 107,9^+ - e - 3,0^{++}$ (dB)

* Média aritmética dos dados de 3150 Hz e 4000 Hz

** Média aritmética dos dados de 6300 Hz e 8000 Hz

+ Nível global, em dB(C), do ruído rosa arbitrário de 100 dB por banda

++ Fator de segurança para evitar superestimação da proteção assumida, tendo em vista variações espectrais dos ruídos reais.

III Utilização Prática do NRR

Além do uso como índice comparativo entre os protetores auditivos, o principal objetivo, do NRR é a verificação da proteção oferecida a um usuário em determinado ambiente. Para sabermos o nível em dB(A) que atinge o sistema auditivo do usuário (em condições ideais) faz-se a seguinte operação:

$$\text{dB (A)}^{(1)} = \text{dB (C)}^{(2)} - \text{NRR}^{(3)}$$

- (1) Nível que atinge o sistema auditivo do usuário
- (2) Nível global em dB(C) do ambiente ruidoso
- (3) NRR obtido de acordo com o Item IV, que considera situações ideais de colocação, estado e tempo de utilização do protetor em 100% da jornada.

IV Exemplo de Aplicação

Método para obtenção do índice de redução acústica, NRR [6], para qualificação de protetores auditivos através de número único, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Como calcular o NRR.

Frequências de banda de oitava (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
a) Níveis de banda de oitava em dB (A) de um ruído rosa arbitrário de 100 dB por banda	83,9	91,4	96,8	100,0	101,2	101,0	98,0
b) Atenuações médias	13,0	13,0	18,0	27,0	30,0	41,5	38,5
c) Desvio padrão vezes 2	4,8	3,6	6,0	6,8	6,0	9,0	14,6
d) Níveis, em dB (A), por banda de oitava após o uso protetor auditivo $d = a - b + c$	75,8	82,0	84,8	79,8	77,2	68,5	75,0

I Dados Necessários

Atenuação média e desvio padrão do protetor auditivo para as frequências definidas de acordo com a norma ANSI S3.19.

II Formato de Cálculo

e) Nível global, após o uso de protetor, em dB(A) (somação logarítmica dos níveis do item d = 88,3).

f) $NRR = 107,9^{+} - e - 3,0^{++} \text{ (dB)} = 107,9 - 88,3 - 3 = 16,6 \text{ dB.}$

O ponto chave a considerar é que o NRR é subtraído da medida do nível do som compensado em C (sem o protetor), para concluir qual a exposição efetiva do usuário, ao som, compensado em A. A idéia de se subtrair o fator de redução de ruído de um nível de som, compensado em C, para se chegar ao nível de exposição compensado em A, foi primeiramente proposto por Botsford [7] em 1973. Esse conceito "C menos A" é um componente comum e importante em todas as descrições bem sucedidas de números índice.

Como pode ser observado na tabela anterior, o NRR é a diferença entre a totalidade do nível de som compensado em C e a totalidade do nível de som compensado em A, usando-se o protetor. Os valores de atenuação usados no cálculo são os valores desta medidos em laboratório menos duas vezes o desvio padrão. O NRR, além de incorporar a correção de dois desvios padrão, incorpora também um fator de segurança de 3 dB. Estas correções têm como objetivo garantir a proteção de 98% da população que usar corretamente um dispositivo de proteção. Entende-se por "usar corretamente os protetores", usá-los da mesma forma que eles foram usados pelos indivíduos que se submeteram aos testes ou da mesma forma que os protetores foram posicionados na cabeça artificial.